



TUGAS AKHIR - TM141585

**PENGARUH LUBANG PADA PIRINGAN
CAKRAM TERHADAP DISTRIBUSI
TEMPERATUR KAMPAS REM CAKRAM**

MUHAMMAD WILDAN AL HAKIM
NRP. 2115 105 025

Dosen Pembimbing :
Ir.Julendra Bambang Ariatedja, M.T.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM141585

***EFFECT OF THE HOLE IN DISC BRAKE TO
THE TEMPERATURE DISTRIBUTION ON
BRAKE PAD***

MUHAMMAD WILDAN AL HAKIM
NRP. 2115 105 025

Advisor Lecturer :
Ir.Julendra Bambang Ariatedja, M.T.

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

PENGARUH LUBANG PADA PIRINGAN CAKRAM TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR KAMPAS REM CAKRAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD WILDAN AL HAKIM

NRP. 021116 45 000025

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT
NIP. 196807061999031004 (Pembimbing)
2. Latifah Nurahmi, ST., M.Sc., PhD
NIP. 1986201712037 (Penguji I)
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001 (Penguji II)

SURABAYA

JULI, 2018

PENGARUH LUBANG PADA PIRINGAN CAKRAM TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR KAMPAS REM CAKRAM

Nama : **Muhammad Wildan Al Hakim**
NRP : **02111645000025**
Jurusan : **Teknik Mesin FTI-ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T.**

ABSTRAK

Salah satu komponen yang terpenting pada sistem pengereman adalah kampas rem. Kampas rem merupakan komponen yang berfungsi untuk memperlambat, menghentikan putaran poros, mengendalikan poros dan untuk keselamatan. Komposisi struktur bahan kampas rem ada dua macam yaitu asbestos dan non asbestos. Kampas rem asbestos akan mengalami kehilangan kemampuan pengereman (fadding) pada temperatur 200°C. Kejadian ini dapat terjadi jika terjadi panas yang berlebihan yang diakibatkan gesekan terus menerus antara kampas rem dan piringan cakram, sehingga membuat kemampuan pengereman hilang.

Pada Penelitian Tugas Akhir ini dihasilkan temperatur permukaan atau temperatur rata – rata dari kampas rem dengan menggunakan metode elemen hingga, Simulasi metode elemen hingga (MEH) dalam analisis proses pengereman mampu mengungkapkan banyak informasi, yang sebelumnya tidak dapat diakses dengan percobaan Untuk mendapatkan hasil simulasi yang terpercaya, setiap tahapan prosedur metode elemen hingga harus diverifikasi. Dengan demikian, verifikasi tahapan simulasi MEH menjadi sangat penting. Tahapan dari penelitian ini terdiri dari pembuatan model, simulasi model awal, kemudian hasil simulasi model awal akan dibandingkan dengan hand calculation , setelah itu dilakukan pembuatan model sebenarnya, kemudian dilakukan penambahan dan variasi bentuk lubang. Penambahan lubang

berjumlah delapan lubang dilakukan pada 3 diameter berbeda yaitu diameter 166 mm, 181 mm, 200 mm. Bentuk lubang bulat diubah menjadi memanjang dan elips. Permodelan dilakukan dengan bantuan software SolidWorks 2015, dan untuk proses simulasi dilakukan dengan bantuan software Finite Element. Proses pengereman yang dimodelkan adalah pada rem cakram motor supra x 125 dengan material kampas rem yang digunakan adalah Asbestos dan material dari piringan cakram adalah Cast Iron. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan pengaruh penambahan jumlah lubang dan variasi bentuk lubang terhadap distribusi temperatur kampas rem cakram.

Dari hasil yang didapat dari simulasi proses pengereman pada model kampas rem motor honda supra x 125 didapatkan bahwa lubang mempengaruhi distribusi temperatur pada kampas rem, hasil dari simulasi permukaan akhir kampas rem yang bergesekan dengan piringan cakram memiliki kenaikan temperatur tertinggi sedangkan pada permukaan awal terjadinya gesekan dengan piringan cakram menghasilkan kenaikan temperatur terendah. Permukaan piringan cakram tanpa lubang apabila dibandingkan permukaan piringan cakram dengan 40 lubang menghasilkan penurunan kenaikan temperatur yang signifikan. Dengan penambahan 8 lubang pada diameter 166 mm, 181 mm, dan 200 mm tidak mengubah kenaikan temperatur permukaan kampas rem secara signifikan, sedangkan merubah bentuk lubang dari bulat menjadi memanjang dan elips sedikit menurunkan kenaikan temperatur permukaan kampas rem.

Kata kunci: Kampas rem, Rem cakram, *Asbestos*, *Fadding*, Temperatur, *Finite Elemen*.

EFFECT OF THE HOLE IN DISK BRAKE TO THE TEMPERATURE DISTRIBUTION ON BRAKE PAD

Name : Muhammad Wildan Al Hakim
NRP : 02111645000025
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T.

ABSTRACT

One of the most important components of the braking system is the brake lining. Brake lining is a component that serves to slow down, stop the rotation of the shaft, control the shaft and for safety. The composition of brake lining material there are two kinds of asbestos and non asbestos. Asbestos brake pads will experience a loss of braking ability (fadding) at a temperature of 200°C. This event can occur in case of excessive heat caused by continuous friction between the brake lining and disc plates, thus making the braking ability disappear.

In this final research, surface temperature or average temperature of brake linings is obtained by finite element method, finite element finite (MEH) simulation method in braking process analysis able to reveal many information, previously not accessible by experiment To get the simulation result trusted, each stage of the finite element method procedure must be verified. Thus, the verification of the MEH simulation stage becomes very important. The stages of this research consist of modeling, simulation of the initial model, then the results of the initial model simulation will be compared with the hand calculation, after which the actual modeling is made, then the addition and variation of the hole form. The addition of eight holes is done in 3 different diameters of 166 mm diameter, 181 mm, 200 mm. The shape of the round hole is changed to elongate and ellipse. Modeling is done with the help of SolidWorks 2015 software, and for the simulation process is done with the help of Finite Element software. The braking process that

is modeled on the disc brakes supra x 125 motor with brake lining material used is Asbestos and the material of the disk disc is Cast Iron. This research is expected to show the effect of increasing the number of holes and variations of hole shape to the disc brakes disc distribution temperature.

From the results obtained from the simulation of the braking process on the brake model of honda supra x 125 motor that affect the distribution of temperature distribution on the brake lining, result of simulation the brake end surface of the brake that rubs against the disk disk has the highest temperature rise while on the initial surface of the friction with disc disks producing the lowest temperature rise. The disk surface without holes when compared to the disk surface with 40 holes resulted in a significant decrease in temperature rise. With the addition of 8 holes in diameter 166 mm, 181 mm, and 200 mm did not alter the rise of surface temperature of the brake lining significantly, while changing the shape of the hole from the round to elongate and the ellipse slightly lowered the brake surface temperature increase of the brake lining.

Keywords: Brake lining, Disc brakes, Asbestos, Fadding, Temperature, Finite Elements

KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim,
Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia Nya sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW dan para keluarga serta sahabat dan umatnya hingga akhir zaman. Amiin. Tugas Akhir ini ditulis sebagai salah satu prasyarat kelulusan sebagai mahasiswa S-1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Berkenaan dengan tugas akhir yang telah rampung ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan kerjasamanya, khususnya kepada:

1. Ayah, Ibu dan saudara yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
2. Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, nasehat, dan masukan dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., Bapak Achmad Syaifudin, ST., M.Eng., PhD., dan Bapak Ari Kurniawan Saputra, ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
4. Bapak Sutikno, selaku dosen wali yang telah memberikan arahan, motivasi, dan bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan pada tahap Sarjana.
5. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak sekali membantu penulis dalam hal akademis dan hal non akademis.
6. Seluruh teman-teman anggota laboratorium mekanika benda padat yang telah menjadi partner dan teman selama pengerjaan tugas akhir ini.

7. Seluruh teman-teman Lintas Jalur 2016 yang selalu menjadi kawan bagi penulis hingga kapanpun.
8. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, berkat keterlibatannya lah penulis dapat mencapai pencapaian sejauh ini.

Penulis menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan diri dari penulis. Oleh karena itu dengan segala rasa hormat dan rendah hati penulis mohon masukan dan kritiknya, baik untuk penelitian Tugas Akhir ini ataupun untuk diri penulis sendiri. Akhir kata, semoga penelitian ini menjadi sesuatu yang berguna bagi seluruh umat manusia dan masyarakat Indonesia khususnya. Amiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II. DASAR TEORI.....	5
2.1 Sistem Pengereman	5
2.1.1 Komponen Sistem Pengereman.....	6
2.2 Disc Brake	8
2.2.1 Komponen Disc Brake	8
2.2.2 Cara Kerja	12
2.3 Minyak Rem.....	13
2.4 Gaya Gesek	13
2.5 <i>Finite Element Method</i> (FEM)	15
2.5.1 Prosedur Dasar	15
2.6 Analisa Pengereman.....	17
2.6.1 Cara Mencari CG (<i>Center of Gravity</i>)	17
2.6.2 Distribusi pengereman yang dibutuhkan sistem .	20
2.6.3 Perilaku kestabilan arah kendaraan pada saat pengereman.....	23
2.7 Pengaruh Gaya Aksial Terhadap Energi Panas	24

2.8 Menentukan Temperatur Kampas Rem	25
2.9 Penelitian Terdahulu	26
2.9.1 Prediksi Kegagalan Sistem Rem pada Sepeda Motor (Studi Kasus Honda Supra X 125)	26
BAB III. METODOLOGI	31
3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	31
3.2 Prosedur Simulasi Proses Pengereman	33
3.3 Variabel Penelitian	35
3.3.1 Variabel Bebas	35
3.3.2 Variabel tetap	36
3.4 Flowchart Simulasi Finite Elemen	37
3.5 Prosedur Simulasi Finite Elemen	38
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Perbandingan Hasil Hand Calculation dan Simulasi Dengan Bentuk Benda Yang Telah Disederhanakan.....	49
4.1.1 Dimensi Benda Dengan Bentuk Yang Disederhanakan.....	49
4.1.2 Pemodelan Matematika	50
4.1.3 Hasil Simulasi Dengan <i>Software Finite Element</i>	55
4.2 Simulasi Menggunakan Bentuk Benda Yang Sebenarnya.....	56
4.2.1 Dimensi Benda Yang Sebenarnya	56
4.2.2 Perhitungan data proses pengereman	57
4.2.3 Simulasi Menggunakan Aplikasi <i>Finite Element</i>	60
4.3 Variasi Jumlah Lubang pada piringan cakram	64
4.3.1 Penambahan Lubang pada piringan cakram	64
4.4 Variasi Bentuk Lubang pada piringan cakram.....	75
4.4.1 Lubang memanjang pada piringan cakram	75
4.4.2 Lubang elips pada piringan cakram	79
4.5 Perbandingan Tanpa Lubang dan Dengan Lubang	82

4.6 Perbandingan Tanpa Lubang, Dengan Lubang, Dan Variasi Bentuk Lubang	83
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Rem	5
Gambar 2.2 Pedal Rem.....	6
Gambar 2.3 Tuas Rem Tangan.....	6
Gambar 2.4 Master Silinder	7
Gambar 2.5 Tabung <i>Reservoir</i>	7
Gambar 2.6 Selang Rem.....	8
Gambar 2.7 Tipe <i>Caliper</i>	9
Gambar 2.8 Tipe <i>Pad</i>	10
Gambar 2.9 Rotor.....	11
Gambar 2.10 Minyak Rem	13
Gambar 2.11 Gaya Gesek Pada Suatu Bidang.....	14
Gambar 2.12 Penimbangan Bidang Datar	18
Gambar 2.13 Distribusi gaya-gaya pada penimbangan bidang miring.....	19
Gambar 2.14 Gaya - gaya saat kendaraan turun di rem	21
Gambar 2.15 Skema Uji Koefisien Gesek	27
Gambar 3.16 Diagram benda bebas pengujian koefisien gesek ..	28
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Proses penelitian.....	32
Gambar 3.2 Variasi lubang pada piringan cakram.....	36
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> simulasi	38
Gambar 3.4 Pembuatan <i>Part</i> Pada <i>Software Solidwork</i>	39
Gambar 3.5 <i>Import part</i> dari solidwork.....	40
Gambar 3.6 <i>Input material properties</i>	41
Gambar 3.7 <i>Assembly part</i>	42
Gambar 3.8 <i>Input step</i>	43
Gambar 3.9 <i>Hasil Output</i>	43
Gambar 3.10 <i>Create interaction</i>	44
Gambar 3.11 <i>Interaction of disc brake</i>	45
Gambar 3.12 <i>Proses Pemberian Pressure</i>	46
Gambar 3.13 Proses Pemberian Kecepatan Sudut Putaran	46

Gambar 3.14 Proses Pembuatan <i>Meshing</i>	47
Gambar 3.15 Proses <i>visualization</i>	48
Gambar 4.1 Dimensi benda kerja yang disederhanakan	50
Gambar 4.2 Grafik hasil hand calculation benda kerja yang telah sederhana	53
Gambar 4.3 Grafik <i>konvergency element</i> yang digunakan	54
Gambar 4.4 Hasil simulasi benda kerja yang telah disederhanakan bentuknya.....	55
Gambar 4.5 Grafik simulasi benda kerja yang telah disederhanakan.....	55
Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara hasil simulasi dan <i>hand calculation</i>	56
Gambar 4.7 Benda kerja yang sebenarnya.....	56
Gambar 4.8 Permukaan yang dijadikan referensi.....	61
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan temperature 2500 elemen dan 2500 elemen.....	61
Gambar 4.10 Permukaan kampas rem.....	62
Gambar 4.11 Hasil simulasi tanpa variasi bentuk dan jumlah lubang.....	63
Gambar 4.12 Grafik Hasil temperatur permukaan kampas rem	63
Gambar 4.13 Grafik <i>trendline</i> temperatur permukaan kampas rem	64
Gambar 4.14 Diameter penambahan 8 lubang pada piringan cakram	65
Gambar 4.15 Hasil simulasi variasi penambahan 8 lubang pada piringan cakram.....	65
Gambar 4.16 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 166 mm.....	66
Gambar 4.17 <i>Trendline</i> hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 166 mm.....	66
Gambar 4.18 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 166 mm.....	67

Gambar 4.19	Trend hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 166 mm.....	68
Gambar 4.20	Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 181 mm.....	69
Gambar 4.21	Trend line hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 181 mm.....	69
Gambar 4.22	Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 181 mm.....	70
Gambar 4.23	Trend hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 181 mm.....	71
Gambar 4.24	Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 200 mm.....	72
Gambar 4.25	Trend line hasil simulasi permukaan 1 dengan penambahan lubang pada diameter 200 mm.....	72
Gambar 4.26	Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 200 mm.....	73
Gambar 4.27	Trend hasil simulasi permukaan 2 dengan penambahan lubang pada diameter 200 mm.....	74
Gambar 4.28	Dimensi variasi bentuk memanjang pada piringan cakram	75
Gambar 4.29	Hasil simulasi variasi lubang bentuk elips pada piringan cakram	75
Gambar 4.30	Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan variasi lubang memanjang	76
Gambar 4.31	Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 1 dengan variasi lubang memanjang	76
Gambar 4.32	Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan variasi lubang memanjang	77
Gambar 4.33	Grafik trendline hasil simulasi permukaan 2 dengan variasi lubang memanjang	78
Gambar 4.34	Dimensi variasi lubang bentuk <i>elips</i> pada piringan cakram	79
Gambar 4.35	Hasil simulasi variasi lubang bentuk <i>elips</i> pada piringan cakram	79

Gambar 4.36 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan variasi lubang <i>elips</i>	79
Gambar 4.37 Grafik <i>trendline</i> simulasi permukaan 1 dengan variasi lubang <i>elips</i>	80
Gambar 4.38 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan variasi lubang <i>elips</i>	81
Gambar 4.39 Grafik <i>trendline</i> simulasi permukaan 2 dengan variasi lubang <i>elips</i>	81
Gambar 4.40 Grafik hasil simulasi permukaan 2 tanpa lubang pada piringan cakram	82
Gambar 4.41 Grafik <i>trendline</i> simulasi permukaan 2 tanpa lubang pada piringan cakram	83
Gambar 4.42 Perbandingan tanpa lubang, dengan lubang, dan variasi bentuk lubang.....	83
Gambar 4.43 <i>Trendline</i> perbandingan tanpa lubang, dengan lubang, dan variasi bentuk lubang	84
Gambar 4.44 Perbandingan tanpa lubang, dengan lubang, dan	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga fr pada sepeda motor.....	22
Tabel 2.2 Koefisien adhesi ban pada berbagai jenis jalan.....	23
Tabel 2.3 <i>Properties of asbestos</i>	25
Tabel 2.4 Data pengujian koefisien gesek	27
Tabel 2.5 Hasil perhitungan koefisien gesek	29
Tabel 3.1 <i>Properties of material</i>	40
Tabel 4.1 <i>Properties material of asbestos</i>	50
Tabel 4.2 <i>Properties material disc</i> dan kampas rem	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan sistem transportasi dan teknologi pada saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, sehingga semua hal yang mendukung kemajuan dunia ini dituntut untuk mengikuti perkembangan teknologi. Adanya perkembangan teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat sehingga kehidupan masyarakat lebih layak. Transportasi merupakan bagian dari perkembangan teknologi yang terjadi. Sarana transportasi merupakan hasil berjalannya perkembangan otomotif

Banyak produsen yang telah mengembangkan sarana transportasi mulai dari tampilan sampai performa mesin agar lebih menarik, kuat dan tangguh. Peningkatan performa mesin maka akan dihasilkan kendaraan yang bertenaga besar dan berkecepatan tinggi. Sejalan dengan tersebut untuk menjaga keamanan pengendara maka harus dibutuhkan sistem pengereman yang optimal. Salah satu komponen terpenting pada sarana transportasi adalah rem. Rem merupakan komponen yang berfungsi untuk menghentikan putaran poros, mengatur kecepatan putaran poros dan mencegah putaran yang tidak dikehendaki dengan menggunakan gesekan, singkatnya rem berfungsi untuk memperlambat laju dari kendaraan. Selama terjadi pengereman, kerja gesek rem diubah menjadi panas. Dalam hal ini kalkulasi pelepasan kalor dan umur pakai kampas ditentukan oleh jenis material kampas, dimensi bagian yang bergesekan dan kualitas pemakaian dari rem itu sendiri.

Merk komponen kampas rem ditawarkan oleh para produsen sangat beragam, mulai dari standard pabrikan sepeda motor hingga bervariasi merk yang laris dipasaran karena lebih terjangkau harganya, sehingga harus lebih selektif dalam memilih suatu produk. Akan tetapi untuk standard keselamatan tidak pernah ada toleransi, kampas rem harus tahan aus dari gesekan dan harus aman pada temperatur tinggi yaitu pada saat waktu pengereman lama

seperti di jalan menurun yang panjang. Semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi juga panas yang ditimbulkan pada saat pengereman kecepatan tinggi. Dengan adanya permasalahan tersebut maka perlu dilakukan analisis perbandingan tingkat panas kampas rem cakram ditinjau dari komposisi struktur penyusun bahan kampas.

Komposisi struktur bahan kampas rem ada dua macam yaitu *asbestos* dan *non asbestos*. Keduanya memiliki perbedaan dalam ketahanan terhadap suhu dimana kampas rem masih mampu bekerja. Laju perambatan panas pada kampas rem dengan komposisi struktur yang berbeda tentunya akan berbeda pula. Kampas rem *asbestos* akan mengalami kehilangan kemampuan pengereman (*fading*) pada temperatur 200°C, sehingga pada temperatur tinggi kampas rem cenderung licin dan mengeras, juga ketika terkena air. Kejadian ini dapat terjadi jika terjadi panas yang berlebihan yang disebabkan karena gesekan terus menerus antara kampas rem dan cakram, sehingga membuat kemampuan pengereman akan hilang. Pada tugas akhir ini akan dilakukan proses simulasi dengan *software* berbasis elemen hingga. Pada penelitian ini akan ditentukan distribusi temperatur yang terjadi dari proses pengereman pada kampas rem dengan sistem rem cakram (*disk brake*) menggunakan *software Finite Element*.

1.2 Tujuan Penelitian

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan permasalahan yang muncul dari penelitian tugas akhir adalah :

1. Mensimulasikan proses pengereman dalam *software Finite Element*.
2. Mengetahui distribusi temperatur pada kampas rem yang dihasilkan dari proses pengereman.
3. Mengetahui pengaruh geometri dan jumlah lubang pada piringan cakram terhadap temperatur permukaan atau temperatur rata – rata kampas rem.

1.3 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan simulasi proses pengereman dengan *software Finite Elemen*
2. Bagaimana cara untuk mengetahui distribusi temperatur pada saat proses pengereman
3. Bagaimana pengaruh geometri dan jumlah lubang pada piringan cakram terhadap temperatur permukaan atau temperatur rata – rata kampas rem

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan pada proses pengereman, maka harus dilakukan pembatasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, termasuk cara penelitian dan proses-proses pengujian yang dilakukan, batasan masalah tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Analisa dilakukan pada motor honda supra x 125
2. Kampas rem terbuat dari bahan *asbestos* dan disk terbuat dari *cast iron*
3. Gaya yang diberikan kampas rem pada disk dianggap konstan.
4. Proses pengereman dilakukan saat kondisi jalan turun dengan sudut kemiringan 20° tanpa melepas handle rem.
5. Kecepatan sudut, Gaya gesek, Konduktifitas thermal material dan heat flux dianggap konstan pada saat fase gesekan.
6. Perpindahan panas konveksi dan radiasi diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini baik untuk penulis, masyarakat luas dan dunia pendidikan antara lain yaitu :

1. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya terutama proses pengereman menggunakan sistem *disc brake*

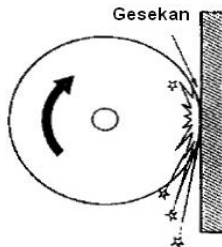
2. Memperluas wawasan terhadap ilmu pengetahuan pada bidang teknik pada proses pengereman.
3. Memberikan informasi proses pengereman yang lebih

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Pengereman

Sistem rem dari suatu kendaraan adalah merupakan salah satu elemen terpenting dari suatu kendaraan, karena merupakan bagian terpenting untuk keamanan kendaraan. Sistem rem kendaraan harus mampu mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan secara aman baik pada kondisi jalan lurus maupun belok pada segala kecepatan [1]. Mesin merubah energi panas menjadi energi kinetik (energi gerak) untuk menggerakkan kendaraan. Sebaliknya, prinsip kerja rem adalah mengubah energi kinetik kembali menjadi energi panas untuk menghentikan kendaraan. Rem bekerja disebabkan oleh adanya gesekan antara gerak putar (*disc*) dengan penekanan (*pad*) [2].



Gambar 2.1 Prinsip kerja rem
(OtospeedCar.com)

Sistem pengereman menghasilkan gaya pengereman pada kendaraan dengan mengubah energi kinetik dari kendaraan menjadi energi *thermal* dengan memanfaatkan gaya gesek, sehingga dibutuhkan beberapa persyaratan yaitu :

- *Brake system* tidak mempengaruhi gerak roda saat dipakai.
- *Brake system* harus bisa berfungsi dengan baik dalam keadaan *maximum speed* dan beban pada kendaraan.
- Pengoprasian rem harus mudah tanpa menimbulkan kelelahan pada pengendara.

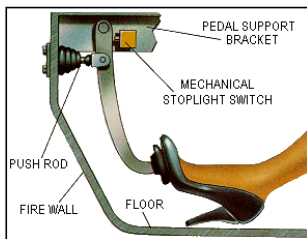
- Harus menghasilkan pengereman yang pasti dan mudah dalam mengecek dan mengontrol.
- Harus mempunyai *high reliability* dan *durability* dalam pengereman.

2.1.1 *Komponen Sistem Pengereman*

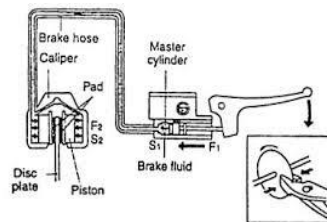
Beberapa komponen utama pada sistem pengereman adalah sebagai berikut :

1. Pedal Rem / Tuas Rem

Pedal rem / Tuas Rem digunakan untuk memindahkan gaya ke master cylinder.



Gambar 2.2 Pedal rem



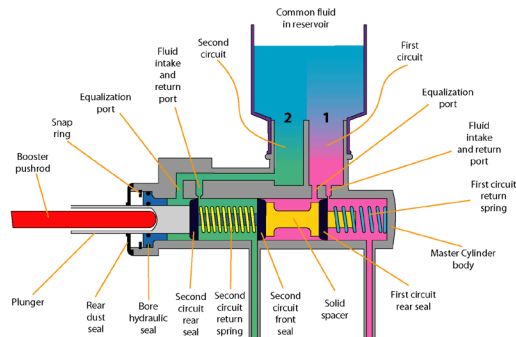
Gambar 2.3 Tuas rem tangan

(www.motoristpassion.com)

(www.totalotomotif.com)

2. *Master cylinder*

Master cylinder (master silinder) merupakan piston input untuk sistem pengereman pada mobil. Terhubung dengan pedal rem sehingga gerakan pedal ditransmisikan ke piston master silinder melalui pushrod menjadi tekanan hidraulik. Terdiri dari *recervoir tank* yang berisi minyak rem, piston dan cylinder. Ada dua tipe *master cylinder* yaitu piston tunggal dan piston ganda.



Gambar 2.4 Master cylinder
(www.tegger.com)

3. Reservoir Tank

Reservoir tank digunakan untuk tempat mengisi minyak rem (input). Selama rem bekerja, banyaknya minyak rem di dalam *reservoir tank* berubah, perubahan volume ini bisa menyebabkan perubahan tekanan. Hal ini dapat dicegah dengan adanya lubang pada tutup *reservoir* yang terhubung dengan udara luar.



Gambar 2.5 Tabung reservoir
(s6.postimage.org)

4. Selang Rem

Selang yang berfungsi untuk menyalurkan minyak rem dari master silinder menuju *disc brake*. Biasanya terbuat dari logam (baja atau tembaga), beberapa dibuat dari selang karet *flexibel* karena adanya gerakan dan getaran yang cukup kuat pada silinder roda. Selang rem yang bocor dapat mengurangi performa

pengereman karena sistem hidrolis tidak bisa bekerja secara sempurna (tekanan rendah).



Gambar 2.6 Selang rem
(www.vmx.id)

2.2 Disc Brake

Rem cakram dioperasikan secara mekanis dengan memakai kabel baja dan batang/tangkai secara hidrolis dengan memakai tekanan cairan. Pada Rem cakram, putaran roda dikurangi atau dihentikan dengan cara penjepitan cakram oleh dua buah sepatu rem (*brake pads*). Rem cakram mempunyai sebuah *plat disc* yang terbuat dari *cast iron* yang akan berputar bersamaan dengan roda. Saat rem digunakan plat *disc* tercekam dengan gaya bantalan piston yang bekerja secara hidrolis. Ketika hidraulik *brake* dengan *disc* mempunyai radiasi terhadap panas baik karena berputar dan bergesekan dengan udara, hal ini akan menghasilkan pengereman yang stabil karena adanya performa pengereman yang tetap baik walaupun dipakai secara berulang – ulang pada kecepatan tinggi.

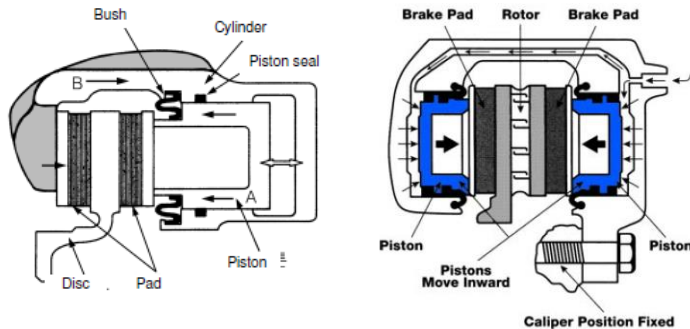
2.2.1 Komponen Disc Brake

Komponen utama dari pengereman tipe *disc brake* adalah sebagai berikut :

A. Caliper

Caliper pada *disc brake* diklasifikasikan kedalam tipe *fixed caliper* (*opposite piston disc brake*) dan *floating caliper*. *Fixed caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika *cylinder* pada tiap sisi *caliper* menekan *brake pads* ke *disc*. Sedangkan *floating caliper* menghasilkan gaya pengereman ketika

seluruh bagian caliper bergerak karena *cylinder* terpasang hanya pada satu sisi saja.



a) *Floating caliper*

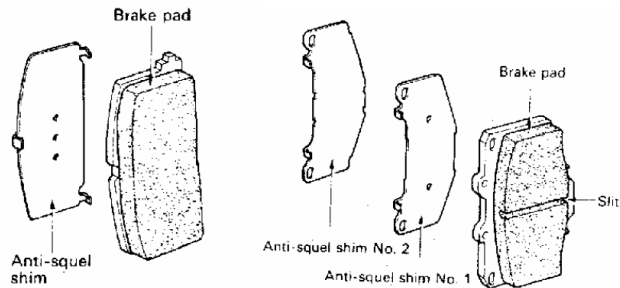
b) *Fixed caliper*

Gambar 2.7 Tipe caliper

(www.autoshop101.com)

B. *Pad Rem (Kampas Rem)*

Pad (*disk pad*) biasa terbuat dari campuran *metallic fiber* dan sedikit serbuk besi. Tipe ini disebut dengan "*semi metallic disk pad*" pada pad diberi gasi celah untuk menunjukkan tebal pad (batas yang diizinkan), dengan demikian dapat mempermudah pengecekan keausan pad. Pada beberapa pad, penggunaan *metallic plate* (disebut dengan *anti-squel shim*) dipasangkan pada sisi piston dari pad untuk mencegah bunyi saat berlaku pengereman.



a) Pad tanpa celah

b) Pad dengan celah

Gambar 2.8 Tipe *pad*
(www.autoshop101.com)

Komposisi struktur bahan kanvas rem ada dua macam yaitu *asbestos* dan *non asbestos*. Keduanya memiliki perbedaan dalam ketahanan terhadap suhu yang terjadi dimana kampas rem masih mampu bekerja. Kampas rem *asbestos* akan terjadi blong atau tidak bekerja pada suhu pengereman mencapai 200°C yang berakibat tingkat kecelakaan akan mudah terjadi.

Kanvas rem akan semakin keras seiring waktu akibat adanya gesekan dan penekanan. Hal ini disebabkan karena benda uji mengalami perubahan temperatur akibat dari gesekan disertai penekanan antara kampas rem dengan piringan cakram yang menimbulkan panas diikuti pendinginan oleh udara. Akibat dari itu panas tersebut yang akan merubah susunan partikel menjadi lebih padat [3].

Jenis Kampas Rem Menurut Klasifikasi International

a. OEM (*Original Equipment Manufactured*)

OEM adalah jenis kampas rem yang sudah terpasang pada saat membeli motor baru, dimana untuk produsen Honda, Suzuki, dan Kawasaki dikeluarkan oleh pabrikan rem Nissin, sedangkan untuk Yamaha dikeluarkan oleh Akebono.

b. OES (*Original Equipment Sparepart*)

OES adalah jenis kampas rem yang digunakan sebagai pengganti kampas rem OEM dimana kampas rem ini dibuat oleh pabrikan OEM sehingga mempunyai kode formula yang sama, proses yang sama, kualitas yang sama dan bahan yang sama dengan kampas rem OEM.

c. AM (*After Market*)

Jenis ini adalah kampas rem yang beredar di pasaran, dengan kualitas yang beragam. Ada yang mempunyai kualitas lebih rendah dari OEM, dan ada yang lebih tinggi kualitasnya dari OEM.

d. *Genuine*

Pada dasarnya kampas rem ini masuk dalam kategori jenis *After Market*. Istilah *Genuine* hanya untuk membedakan antara asli dan palsu tidaknya produk tersebut (www.astra-honda.com)

C. Rotor

Rotor (piringan) menyediakan permukaan untuk bergesekan antara pad dan rotor. Secara umum terdiri dari dua tipe yakni *solid rotor* dan *vented rotor* (berlubang). Untuk mobil yang mempunyai beban ringan atau berukuran kecil menggunakan *solid rotor*, sedangkan *vented rotor* digunakan untuk kendaraan lebih berat dan menghasilkan panas tinggi saat pengereman.



Gambar 2.9 Rotor
(www.jualmotor.info)

2.2.2 Cara kerja

Pada tipe hidrolik ini pemindah gerak handel menjadi gerak *pad*, maka digunakanlah minyak rem. Ketika handel rem ditekan, piston di dalam silinder akan terdorong dan menekan minyak rem keluar silinder. Melalui selang rem, tekanan ini diteruskan oleh minyak rem untuk mendorong piston yang berada di dalam silinder caliper. Akibatnya piston pada *caliper* mendorong *pad* untuk menjepit cakram, sehingga terjadi aksi pengereman.

Saat tangkai rem atau pedal digerakkan, master silinder mengubah gaya yang digunakan kedalam tekanan cairan. Master silinder ini terdiri dari sebuah *reservoir* yang berisi cairan minyak rem dan sebuah silinder yang mana tekanan cair diperoleh. *Reservoir* biasanya dibuat dari plastik atau besi tuang atau *aluminium alloy* dan tergabung dengan silinder. Ujung dari pada master silinder di pasang tutup karet untuk memberikan seal yang baik dengan silindernya, dan pada ujung yang lain juga diberikan tutup karet untuk mencegah kebocoran cairan.

Saat tangkai rem ditekan, piston mengatasi kembalinya spring dan bergerak lebih jauh. Tutup piston pada ujung piston menutup *port* kembali dan piston bergerak lebih jauh. Tekanan cairan dalam master silinder meningkat dan cairan akan memaksa *caliper* lewat *hose* dari rem (*brake hose*). Saat tangkai rem dilepaskan/dibebaskan, piston tertekan kembali ke *reservoir* lewat *port* kembali (lubang kembali).

Keuntungan menggunakan rem cakram adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan radiasi panas yang baik karena panas *disc* yang timbul diserap oleh udara.
2. Menghasilkan performa pengereman yang stabil.
3. Langkah brake pedal jarang skali berubah karena *disc* tidak mudah mengalami deformasi karena panas.
4. Jika rem basah, maka air tersebut akan akan dipercikkan keluar dengan gaya Sentrifugal.
5. Mudah dalam pemeriksaan dan perawatan.

2.3 Minyak Rem

Tanpa minyak rem sistem hidraulik tidak akan bisa beroperasi, dan minyak rem otomotif mempunyai beberapa kriteria yang penting.



Gambar 2.10 Minyak rem
(w32.indonetwork.co.id)

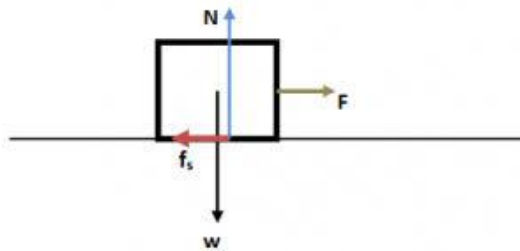
Regulasi kualitas minyak rem diatur oleh pemerintah pusat di Amerika yaitu *Department of Transportation* (DOT) dan *the National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) dan juga oleh macam-macam departemen di beberapa negara. Standar ini didirikan oleh SAE. Karakteristik minyak rem:

- **Viskositas sesuai.**
- **Titik didih tinggi.**
- **Noncorrosive.**
- **Toleransi terhadap air.**
- **Kemampuan untuk melumasi.**
- **Titik beku yang rendah.**
- **Compatible dengan merek lain.**

2.4 Gaya Gesek

Gaya gesek Rem bekerja dengan berdasar gaya gesek antara disk atau drum dengan kampas rem. Gaya gesek merupakan akumulasi interaksi mikro antar kedua permukaan yang saling bersentuhan. Gaya-gaya yang bekerja antara lain adalah gaya elektrostatis pada masing-masing permukaan. Dulu diyakini bahwa permukaan yang halus akan menyebabkan gaya gesek (atau tepatnya koefisien gaya gesek) menjadi lebih kecil nilainya dibandingkan dengan permukaan yang kasar, akan tetapi dewasa ini tidak lagi demikian. Konstruksi mikro (nano tepatnya) pada

permukaan benda dapat menyebabkan gesekan menjadi minimum.. Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Seperti contoh, gesekan statis dapat mencegah benda meluncur ke bawah pada bidang miring [4].



Gambar 2.11 Gaya gesek pada suatu bidang

Koefisien gesek statis umumnya lebih besar dari koefisien gesek kinetis. Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan tepat sebelum benda tersebut bergerak. Gaya gesekan maksimum antara dua permukaan sebelum gerakan terjadi adalah hasil dari koefisien gesek statis dikalikan dengan gaya normal atau $f = \mu_s F_n$. Ketika tidak ada gerakan yang terjadi, gaya gesek dapat memiliki nilai dari nol hingga gaya gesek maksimum. Setiap gaya yang lebih kecil dari gaya gesek maksimum yang berusaha untuk menggerakkan salah satu benda akan dilawan oleh gaya gesekan yang setara dengan besar gaya tersebut namun berlawanan arah. Setiap gaya yang lebih besar dari gaya gesek maksimum akan menyebabkan gerakan terjadi. Setelah gerakan terjadi, gaya gesekan statis tidak lagi dapat digunakan untuk menggambarkan kinetika benda, sehingga digunakan gaya gesek kinetis.

(Anonim,2010,[http://id.wikipedia.org/wiki/Re m_cakram](http://id.wikipedia.org/wiki/Re_m_cakram))

2.5 *Finite Element Method (FEM)*

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam bahasa Indonesia disebut *Metode Elemen Hingga*. Konsep paling dasar FEM adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah. Kata “*finite* atau terhingga” digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut “*discretizing* atau diskritisasi”. Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah object menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Namun biasanya definisi FEM secara matematis memberikan kesan yang rumit yang sebenarnya tidak perlu. Oleh karena itu, pendekatan matematis tidak terlalu ditekankan.

2.5.1 **Prosedur Dasar**

Tahapan dasar dalam melakukan analisa menggunakan FEM ini yaitu *preprocessing*, *solution*, dan *general postprocessing*.

1. *Preprocessing*

Preprocessing adalah langkah awal dalam proses FEM. Pada *preprocessing* terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mengatur secara detail fungsi-fungsi tersebut karena fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat pada *preprocessing* adalah:

- *Modelling* : Proses untuk menggambar benda yang akan dianalisis, pada proses modeling benda dapat Digambar dalam bentuk 2D atau 3D. Untuk benda-benda dengan geometri rumit, benda dapat Digambar dengan menggunakan program CAD yang lain misalkan *Solidworks*.
- *Element Type* : Proses untuk memberikan atribut atau bentukan dari benda yang kita gambar untuk dianalisa, misalnya material yang kita gambar bebrbentuk *solid*, *beam*, *shell*, dll. Tiap-tiap atribut atau bentukan akan berpengaruh opada langkah-langkah berikutnya dan analisa yang akan dilakukan.
- *Material Properties* : Proses untuk memberikan property material pada benda yang akan dianalisa, misalnya densitas, modulus *bulk*, elastisitas, dll.
- *Meshing* : Proses membagi benda yang akan dianalisa menjadi luasan-luasan atau area kecil. *Meshing* merupakan salah satu tahapan penting dalam proses FEM.

2. *Solution*

Langkah berikutnya dalam proses FEM adalah *solution*. Pada tahapan ini telah mendekati proses akhir, yaitu proses analisa dan perhitungan. Tetapi sebelum mencapai proses perhitungan dan analisa ada beberapa langkah yang dalam proses *solution* yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah:

- *Constrains* : Proses menentukan gaya yang akan bekerja pada benda yang akan kita analisa. Pada *constrains* derajat kebebasan benda yang akan dianalisa akan ditentukan.
- *Initial Velocity* : Proses untuk menentukan kecepatan benda yang akan dianalisa.
- *Loading Option* : Proses untuk menentukan gaya yang bekerja pada benda yang akan dianalisa dan menentukan parameter yang mengikutinya.
- *Time Control* : Proses menentukan lamanya waktu yang akan dianalisa.
- *Solve* : Proses menghitung dan menganalisa benda.

3. *General Postprocessing*

Setelah proses desain dan analisa selesai, langkah berikutnya adalah *general postprocessing*. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisa, animasi gerakan benda yang akan dianalisa dan melihat hasil perhitungan serta grafik.

Berikut Langkah-langkah dalam metode elemen hingga dalam menganalisa suatu struktur secara runtut:

- a. Menentukan tipe analisa (*static*, dinamik, modal, *buckling*, *contact*, atau *thermal*)
- b. Menentukan tipe elemen (2D atau 3D)
- c. Menentukan properties material (E, ν, ρ, α , dsb.)
- d. Menentukan nodal pada struktur
- e. Membentuk elemen dengan menyambungkan nodal nodal
- f. Menentukan *boundary condition* dan memberikan beban
- g. Melakukan eksekusi agar memperoleh hasil
- a. Menganalisa hasil yang diperoleh (*Displacement, Stress, Strain, Natural Frequency, Temperature*, atau *time history*) [5].

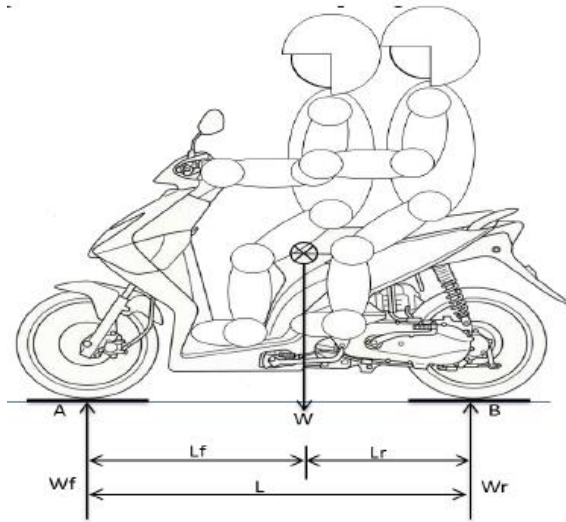
2.6 Analisa Pengereman

2.6.1 Cara Mencari CG (*Center of Gravity*)

Sebelum jauh melakukan percobaan dan perhitungan secara menyeluruh, perlu diketahui tentang posisi *center of gravity* kendaraan untuk lebih memudahkan dalam perhitungan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Mencari L_f dan L_r

Untuk menghitung nilai L_f dan L_r kendaraan, perlu dilakukan penimbangan massa kendaraan dengan cara menaruh timbangan badan digital tepat dibawah roda depan dan roda belakang kendaraan. Dalam hal ini penimbangan harus tepat dalam kondisi horisontal. Contoh penimbangannya seperti terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Penimbangan bidang datar

Pada penimbangan ini akan didapatkan nilai W_f dan W_r yaitu distribusi berat di bagian depan dan belakang kendaraan dengan menggunakan rumus (2.1) dan (2.2).

Apabila tumpuan di roda depan (titik A) :

$$\Sigma MA = 0$$

$$W \cdot L_f - W_r \cdot L = 0$$

$$L_f = \frac{W_r}{W} \cdot L \dots\dots\dots(2.1)$$

Apabila tumpuan di roda belakang (titik B) :

$$\Sigma MB = 0$$

$$-W \cdot L_r + W_f \cdot L = 0$$

$$L_r = \frac{W_f}{W} \cdot L \dots\dots\dots(2.2)$$

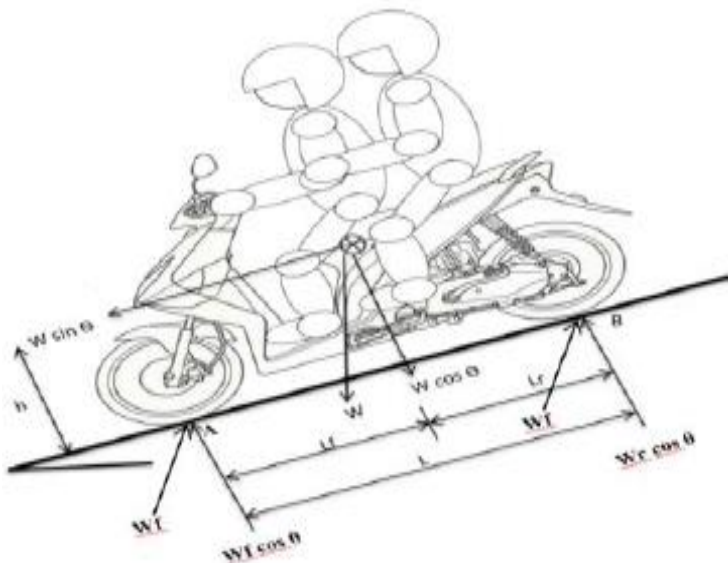
Dimana :

L_f : jarak CG sampai tumpuan roda depan (m),

- L_r : jarak CG sampai tumpuan roda belakang (m),
 L : jarak dari poros roda depan dan belakang (m),
 W_f : Berat kendaraan bagian depan + penumpang (kg),
 W_r : Berat kendaraan bagian belakang + penumpang (kg)
 W : Berat total kendaraan + penumpang (kg)

2. Menghitung nilai h

Untuk mencari nilai h dalam penentuan CG kendaraan, diperlukan penimbangan kendaraan pada kondisi jalan yang memiliki sudut tanjakan 20° . Proses penimbangan masih sama dengan sebelumnya, yaitu timbangan badan digital diletakkan di bawah tumpuan roda depan dan belakang. Contoh penimbangannya seperti terlihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Distribusi gaya-gaya pada penimbangan bidang miring

Untuk mencari nilai h dalam penentuan CG diperlukan penimbangan kendaraan pada kondisi jalan yang memiliki sudut tanjakan 20° . Proses penimbangan sama dengan sebelumnya, yaitu dengan timbangan diletakkan di bawah salah satu roda. Dalam penimbangan kali ini, timbangan diletakkan di bawah roda depan, Apabila tumpuan di roda depan (titik A) :

$$\Sigma MA = 0$$

$$0 = W \cdot \cos \theta \cdot L_f - W r \cdot \cos \theta \cdot L - W \cdot \sin \theta \cdot h$$

$$W \cdot \sin \theta \cdot h = W \cdot \cos \theta \cdot L_f - W r \cdot \cos \theta \cdot L$$

$$h = \frac{(W \cos \theta \cdot L_f) - (W r \cos \theta \cdot L)}{W \sin \theta} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

h adalah tinggi pusat CG dengan tanah (m)

θ adalah sudut tanjakan ($^\circ$)

2.6.2 Distribusi pengereman yang dibutuhkan sistem

Distribusi gaya pengereman antara roda depan dan belakang dapat diketahui dengan menghitung proporsi pengereman antara roda depan dan roda belakang. Proporsi pengereman dapat dirumuskan melalui perbandingan berat kendaraan. Dimana gaya-gaya yang terjadi saat pengereman dilakukan di jalan menurun seperti terlihat pada gambar 2.14. Dengan, R_r adalah gaya hambatan *rolling* pada roda (N) dan R_a adalah hambatan aerodinamik (N).

Untuk tumpuan di roda depan (titik A) :

$$\begin{aligned}
 \Sigma MA &= 0 \\
 W r. \cos \theta. L &= W. \cos \theta. L f + W. \sin \theta. h + \\
 m. a. h - R a. h \\
 W r &= \frac{1}{L} \left[W. L f - \frac{h}{\cos \theta} (W. \sin \theta + m. a - R a) \right] \\
 W r &= \frac{1}{L} \left[W. L f - \frac{h}{\cos \theta} (W. \sin \theta + F b + R r) \right] \\
 W r &= \frac{1}{L} \left[W. L f - \frac{h}{\cos \theta} (W. \sin \theta + \mu. W + f r. W) \right] \\
 W r &= \frac{1}{L} \left[L f - \frac{h}{\cos \theta} (\sin \theta + \mu + f r) \right] \dots \dots \dots (2.5)
 \end{aligned}$$

Maka pada jalan menurun Wf :

o Pada jalan menurun :

$$W f = \frac{W}{L} \left(L r + \frac{h}{\cos \theta} (\sin \theta + \pi a s p a l + f r k e n d a r a a n) \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

o Pada jalan datar :

$$W f = \frac{W}{L} (L r + h(\mu s + f r k e n d a r a a n)) \dots \dots \dots (2.7)$$

Sedangkan W_r pada jalan menurun :

o Pada jalan menurun :

$$W r = \frac{W}{L} \left(L f - \frac{h}{\cos \theta} (\sin \theta + \pi a s p a l + f r k e n d a r a a n) \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

o Pada jalan datar :

$$W r = \frac{W}{L} (L f - h(\mu s + f r k e n d a r a a n)) \dots \dots \dots (2.9)$$

Tabel 2.1 Harga fr pada sepeda motor [6]

V(km/jam)	Fr	V(km/jam)	Fr
10	0,0175	60	0,01845
20	0,017625	70	0,018675
30	0,0178	80	0,018925
40	0,018	90	0,0192
50	0,0182	100	0,019625

2.6.3 Perilaku kestabilan arah kendaraan pada saat pengereman

Gaya yang diberikan piston (F_p) adalah gaya agar tidak terjadi lock pada roda. Apabila gaya yang diberikan sistem lebih dari gaya yang dibutuhkan sistem, (Gaya yang diberikan sistem) $F_{bf} \geq \mu W_f$ (Gaya yang dibutuhkan sistem), maka akan terjadi *Lock* roda depan, sehingga agar tidak terjadi lock maka gaya yang diberikan pada sistem harus kurang dari gaya yang dibutuhkan sistem.

dimana :

Gaya rem yang diberikan oleh sistem adalah :

$$F_{bf} = K_{bf} \cdot F_b$$

$$F_{br} = K_{br} \cdot F_b$$

Gaya rem yang dibutuhkan oleh sistem adalah :

$$F_{bf} = \mu \cdot W_f$$

$$F_{br} = \mu \cdot W_r$$

Terjadi lock apabila :

gaya rem diberikan sistem \geq gaya rem dibutuhkan sistem

$$F_{bf} \geq \mu \cdot W_f, \text{ lock depan}$$

$$K_{br} \cdot F_b \geq \mu \cdot W_r, \text{ lock belakang}$$

Tabel 2.2 Koefisien adhesi ban pada berbagai jenis jalan [7]

No	Permukaan Jalan	Koefisien Adhesi Tertinggi μ_p	Koefisien Roda Lock μ_s
1	Aspal dan Beton (Kering)	0,85	0,75
2	Aspal (Basah)	0,6	0,58
3	Beton (Basah)	0,8	0,7
4	Jalan Tanah (Kering)	0,68	0,65
5	Jalan Tanag (Basah)	0,55	0,45

2.7 Pengaruh Gaya Aksial Terhadap Energi Panas

Pada sistem pengereman *disc brake* terdapat hubungan antara torsi dan energi panas yang dapat diasumsikan bahwa tekanan gesekan antar kontak *interface* kedua material *uniform*. Energi panas yang dihasilkan pada persamaan sebagai berikut [8]:

$$Q = \omega \cdot T_{bc} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

Q = *Heat Generation (W)*

ω = Kecepatan sudut (rad/sec)

T_{bc} = Torsi Pengereman rem cakram (Nm)

Torsi Pengereman rem model cakram dapat diperoleh menggunakan rumus :

$$T_{bc} = F_{bc} \cdot R \text{ (Nm)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

T_{bc} = Torsi pengereman rem cakram (Nm)

F_{bc} = Gaya gesek pengereman rem cakram (N)

R = Jarak antara pusat piringan ke kampas rem (m)

Dapat didefinisikan bahwa F_{bc} (gaya gesekan) sama dengan koefisien gesekan dikalikan dengan gaya piston yang menekan *brake*, seperti pada persamaan:

$$F_{bc} = \mu_k \cdot F_p \text{ (N)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana

F_{bc} = Gaya gesek pengereman rem cakram (N)

μ_k = Koefisien gesek pada rem

F_p = Gaya piston yang menekan *brake* (N)

Tabel 2.3 *Properties of asbestos* [9]:

No	Properties	Asbestos
1	Thermal Conductivity (W/mK)	1,46
2	Coeffisien of Friction	0.4
3	Thermal Diffusivity (cm ² /sec)	0,0007

Persamaan dan dapat disubtitusikan pada persamaan menjadi satu persamaan sebagai berikut:

$$Q = \omega \cdot \mu \cdot F_p \cdot R \text{ (W)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dapat diambil kesimpulan bahwa total energi yang terjadi pada permukaan yang bergesekan adalah panas selama gesekan sehubungan dengan jarak r

Heat flux yang terjadi setiap titik pada jarak r dari sumbu rotasi adalah sebagai berikut:

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{\omega \cdot \mu \cdot F_p \cdot R}{A} \text{ (W/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

- R = Jarak antara pusat piringan ke kampas rem (m)
- Fp = Gaya Piston (Pa)
- ω = Putaran (rad/sec)
- μ = Koefisien gesek
- A = Luas permukaan kanvas rem (m²)

2.8 Menentukan Temperatur Kampas Rem

Setelah proses gesekan terjadi maka timbul heat generation atau energi yang dibangkitkan dari proses gesekan sehingga pada permukaan kampas rem yang mengalami gesekan akan terjadi kenaikan temperatur. Temperatur permukaan yang dihasilkan dari proses gesekan dapat ditentukan dengan rumus [10]:

$$E_{in} + E_g = E_{out}$$

$$0 + Q = q_{kond} - q_{konveksi} - q_{radiasi}$$

Sehingga dari perpindahan panas konduksi secara transien dapat tentukan suhu permukaan dari hasil gesekan yaitu :

$$T_{sur} - T_o = \frac{q}{k} \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot t} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{sur} = T_o + \frac{q}{k} \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot t} \text{ (}^\circ\text{C)} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

T_{sur} : Temperatur permukaan setelah terjadi gesekan ($^\circ\text{C}$)

T_o : Temperatur Awal sebelum Proses Gesekan ($^\circ\text{C}$)

q : *Heat Flux* (W/m^2)

k : Konduktifitas *Thermal Material* ($\text{W/m }^\circ\text{C}$)

α : *Thermal Diffusivity Material* (m^2/sec)

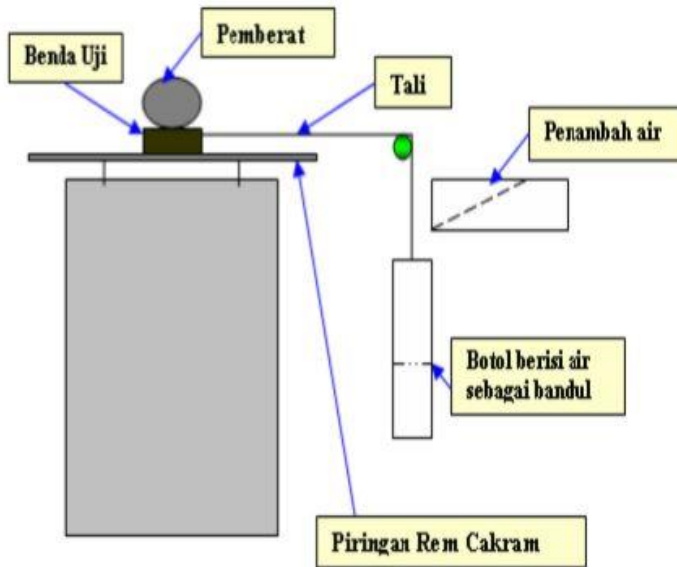
t : Waktu Saat Terjadi Proses Gesekan (sec)

2.9 Penelitian Terdahulu

2.9.1 Prediksi Kegagalan Sistem Rem pada Sepeda Motor (Studi Kasus Honda Supra X 125)

Pada tahun 2013 Wahid Isbullah melakukan penelitian mengenai menentukan umur dan keandalan kanvas rem motor honda supra x 125, yang berjudul “*Prediksi Kegagalan Sistem Rem pada Sepeda Motor (Studi Kasus Honda Supra X 125)*”. Pada penelitian ini dilakukan pengujian koefisien gesek kampas rem cakram sepeda motor honda supra x 125. Tujuan dari pengujian koefisien gesek ini untuk mencari nilai koefisien gesek dari kanvas rem dengan disc (piringan cakram) pada motor supra x 125.

Skema Pengujian Skema pengujian koefisien gesek ini diperlihatkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Skema uji koefisien gesek

Data Hasil Pengujian Dari pengujian koefisien gesek yang sudah dilakukan didapatkan data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 2.4 Data pengujian koefisien gesek

No	M_1	M_2
1	570	250
2	770	300
3	1070	450
4	1270	550
5	1570	700

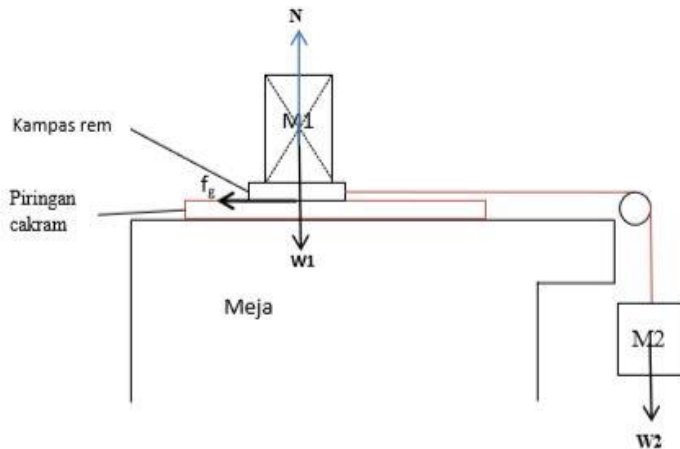
Keterangan :

M1 : massa pemberat (gram)

M2 : massa bandul (gram)

Perhitungan nilai koefisien gesek

Diagram Benda Bebas



Gambar 2.16 Diagram benda bebas pengujian koefisien gesek

Kesetimbangan benda tegar

$$\sum F = 0$$

$$f_s - w_2 = 0$$

$$f_s = w_2$$

$$\mu_g \cdot N = w_2$$

$$\mu_g = \frac{w_2}{N} = \frac{m_2 \cdot g}{m_1 \cdot g}$$

$$\mu_g = \frac{m_2}{m_1}$$

Tabel 2.5 Hasil perhitungan koefisien gesek

M_1	M_2	$\mu_g = \frac{m_2}{m_1}$
570	250	0,44
770	300	0,39
1070	450	0,42
1270	550	0,43
1570	700	0,44

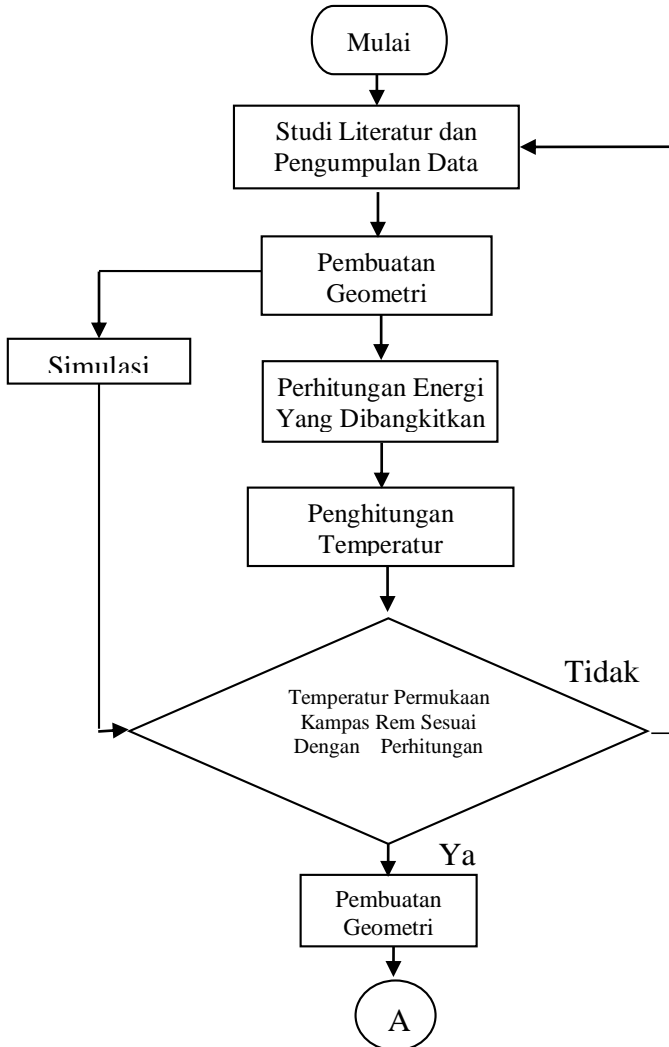
$$\mu = \frac{0,44+0,39+0,42+0,43+0,44}{5} = 0,43$$

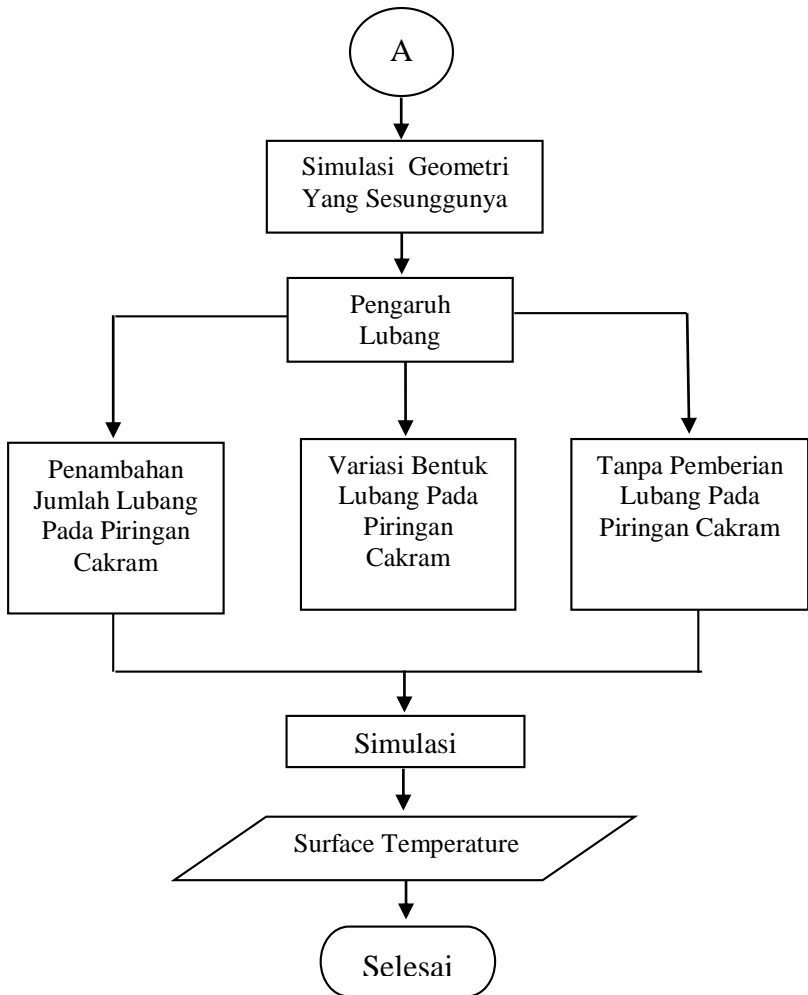
Jadi nilai koefisien gesek untuk kanvas rem adalah 0.43 [11]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1. *Flowchart* Proses Penelitian





Gambar 3.1 *Flowchart* proses penelitian

3.2 Prosedur Proses Penelitian

Dalam melakukan pemodelan finite element mengenai distribusi kecepatan dan temperatur dalam proses pengereman, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, di antaranya :

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang dibahas, dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan proses pengereman. Studi literatur diperoleh dari *e-book*, jurnal, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik permasalahan. Sebelum melakukan simulasi, diperlukan adanya data acuan pemodelan dan simulasi dari sistem yang akan ditinjau sehingga dilakukan pengumpulan data meliputi material dari kampas rem dan piringan cakram .

2. Pembuatan Geometri

Sebelum dilakukan proses *processing* maka dilakukan proses pre-processing yaitu yaitu pembuatan geometri. Tahapan ini proses pembuatan geometri dilakukan menggunakan *software finite element*. Pembuatan part dilakukan di *software abaqus* karena bentuk part yang masih sederhana.

3. Simulasi *Software*

Dilakukan simulasi proses pengereman menggunakan *software finite element* dengan input material dari kampas rem dan piringan cakram, tekanan kampas rem yang menekan piringan cakram , kecepatan sudut putar dari piringan cakram

4. Perhitungan Energi Yang Dibangkitkan

Melakukan perhitungan terhadap energi yang dihasilkan dari proses gesekan saat terjadi proses pengereman

5. Perhitungan Temperatur Permukaan Kampas Rem

Proses perhitungan temperatur permukaan yang terjadi akibat adanya energi yang dibangkitkan dari proses gesekan antara

kampas rem dan piringan cakram. Perhitungan menggunakan rumus perpindahan panas konduksi secara transien.

6. Verifikasi

Melakukan perbandingan terhadap hasil simulasi dengan perhitungan manual yang dilakukan apabila hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil perhitungan manual maka dilakukan studi literatur dan pengumpulan data kembali.

7. Pembuatan Geometri Yang Sesungguhnya

Setelah hasil dari simulasi bentuk yang disederhanakan sama dengan hasil hand calculation maka hasil simulasi dapat dikatakan sesuai. Setelah hasil simulasi sesuai maka dapat dilakukan pembuatan geometri yang sesungguhnya. Pada penelitian ini pembuatan geometri yang sesungguhnya dilakukan pada software solidwork 2015

8. Simulasi Geometri Yang Sesungguhnya

Setelah dibuat geometri sesungguhnya maka geometri tersebut dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi temperatur pada kampas rem sebelum dilakukan proses variasi penambahan lubang dan perubahan bentuk lubang

9. Pengaruh Lubang

Dilakukan variasi lubang untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lubang terhadap distribusi temperature pada kampas rem. Pada penelitian ini dilakukan penambahan 8 lubang dengan 3 diameter yang berbeda, serta perubahan bentuk lubang pada piringan cakram.

10. Penambahan Jumlah Lubang Pada Piringan Cakram

Penambahan lubang dilakukan dengan menambahkan 8 lubang pada 3 diameter yang berbeda yaitu 166mm, 181mm, 200mm.

11. Variasi Bentuk Lubang Pada Piringan Cakram

Variasi bentuk lubang yaitu lubang yang awalnya berbentuk bulat diubah menjadi bentuk memanjang dan oval.

12. Tanpa Pemberian Lubang Pada Piringan Cakram

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lubang apabila dibandingkan dengan piringan cakram tanpa lubang maka dilakukan pembuatan geometri piringan cakram tanpa lubang.

13. Simulasi

Setelah dilakukan pembuatan variasi jumlah lubang dan bentuk lubang untuk mengetahui perbedaan hasil dari distribusi temperatur pada kampas rem yang ditimbulkan dari proses gesekan antara geometri asli dengan geometri yang telah dilakukan variasi maka dilakukan proses simulasi

14. Hasil Simulasi

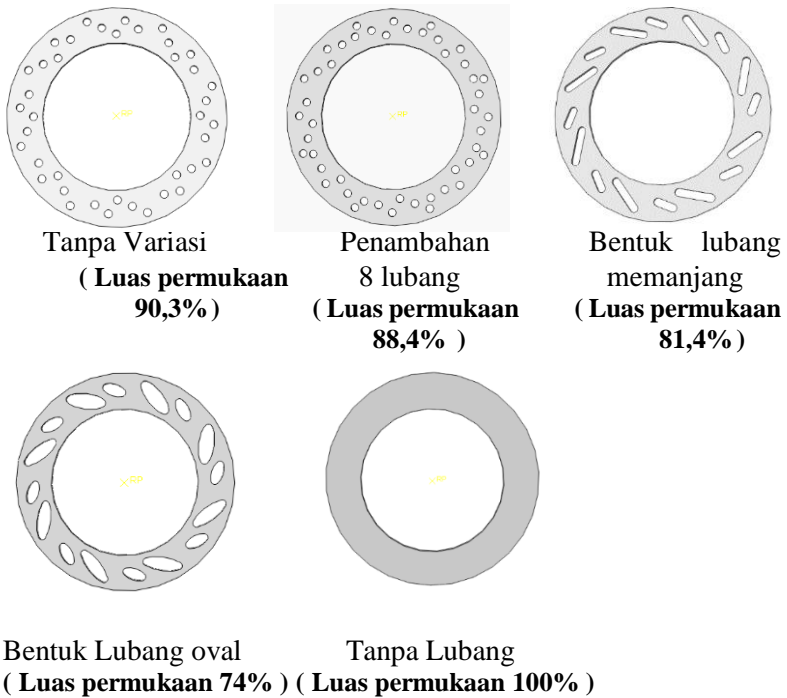
Hasil simulasi berupa grafik distribusi temperatur pada kampas rem setelah dilakukan variasi penambahan lubang, bentuk lubang dan tanpa lubang dibandingkan dengan distribusi temperatur tanpa dilakukan variasi pada piringan cakram. Kemudian dari hasil grafik trendline yang diperoleh dapat ditentukan variasi yang optimal untuk menurunkan kenaikan temperatur pada kampas rem pada rem cakram.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan jumlah dan bentuk lubang (celah udara) pada kampas rem. Variabel yang lain dari desain dijaga pada kondisi tetap.

3.3.1 Variabel Bebas

- a. Jumlah dan bentuk lubang piringan cakram (celah udara)

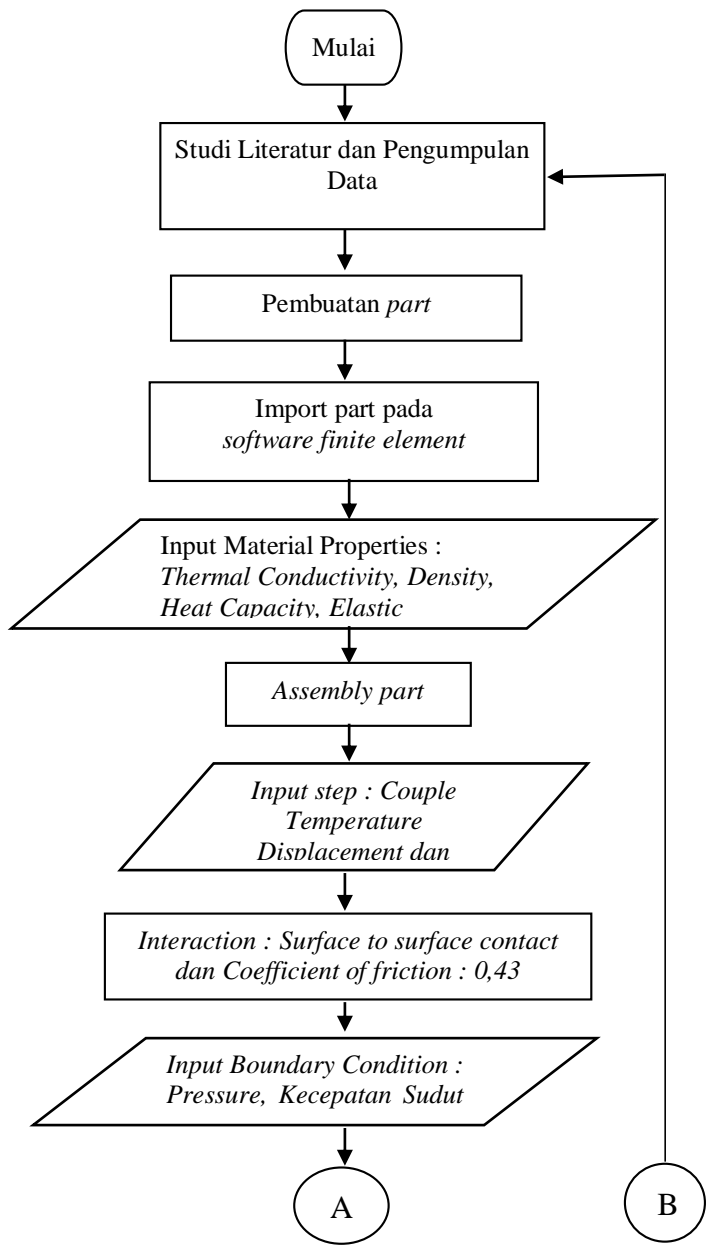


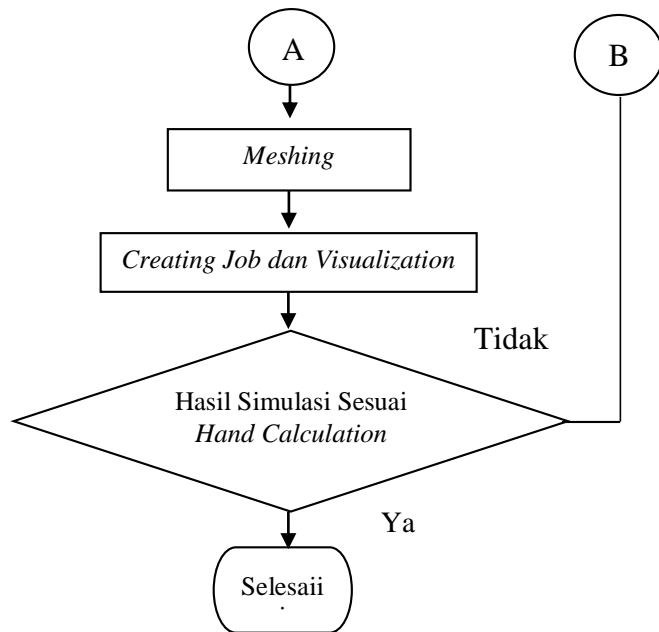
Gambar 3.2 Sebaran dan bentuk lubang

3.3.2 Variabel Tetap

- Gaya yang diberikan pada kampas rem.
- Kecepatan sudut putaran.
- Koefisien gesek antara kampas rem dan piringan cakram.
- Konduktifitas thermal piringan cakram dan kampas rem.

3.4 Flowchart Simulasi Finite Element





Gambar 3.3 *Flowchart* simulasi

3.5 Metode Simulasi *Finite Element*

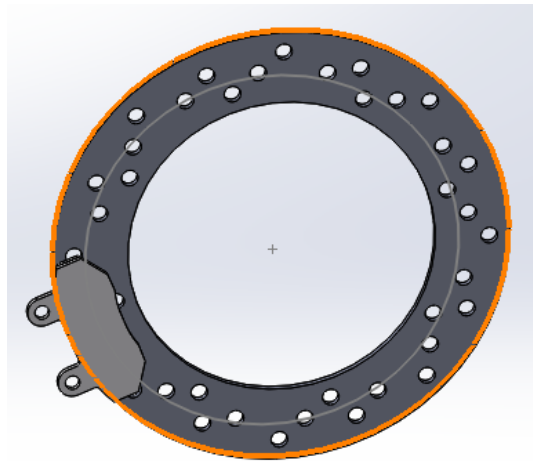
Tahap - tahap yang dilaksanakan pada saat simulasi proses *Finite Element* adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Untuk memperdalam pemahaman mengenai *software finite element* maka dilakukan pencarian mengenai prosedur penggunaan *software* yang diperoleh dari *ebook*, *journal* serta video yang didapatkan dari *youtube*, selain itu juga dicari referensi mengenai *properties material* dari kanvas rem dan *disc* rem.

2. Pembuatan Part

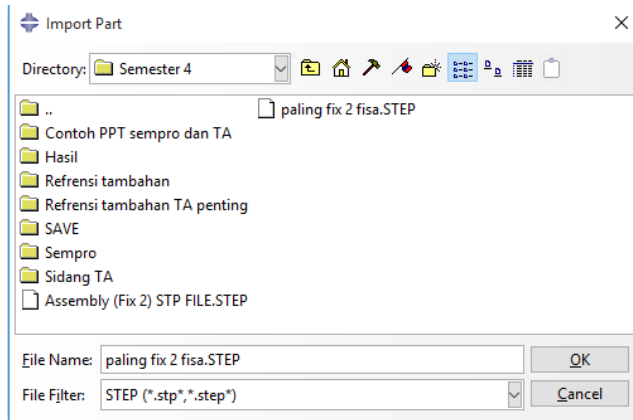
Pembuatan part dilakukan pada software finite element dan solidwork 2015 dilakukan dengan pembuatan geometri yang telah disederhanakan setelah itu dilakukan input material properties dari setiap bahan kampas rem dan disc rem, Seperti pada Gambar 3.4. Pada pembuatan part, disk mempunyai luas permukaan yang bergesekan $0,02079936 \text{ m}^2$ dan kampas rem mempunyai luas permukaan yang bergesekan $0,001490 \text{ m}$



Gambar 3.4 Pembuatan *part* pada *software solidwork*

3. Import Part Pada *Software Finite Element*

Setelah dilakukan pembuatan part pada software solidwork 2015, dilakukan import part dari solidwork ke software simulasi finite elemen. Untuk import part pada software finite elemen file dari solidwork harus berbentuk format IGS atau STEP seperti pada gambar 3.5.



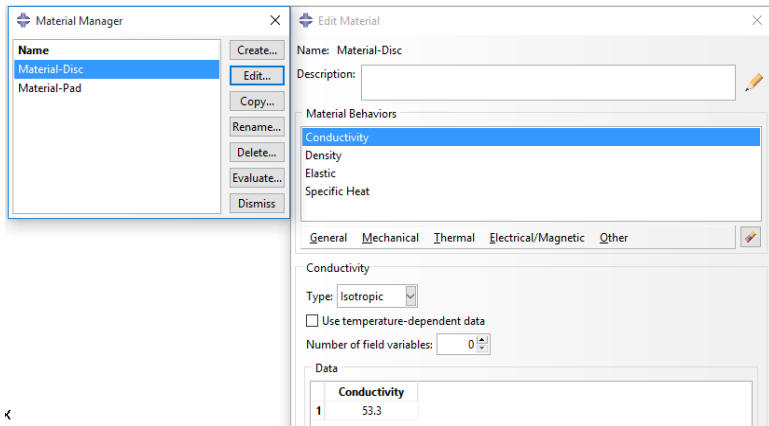
Gambar 3.5 *Import part* dari solidwork

4. Input Material Properties

Setelah dilakukan import part dari solidwork ke software finite element, dilakukan pemberian material properties berupa Density, thermal conductivity, heat capacity, dan elastic seperti pada gambar 3.6.

Tabel 3.1 *Properties of Material*

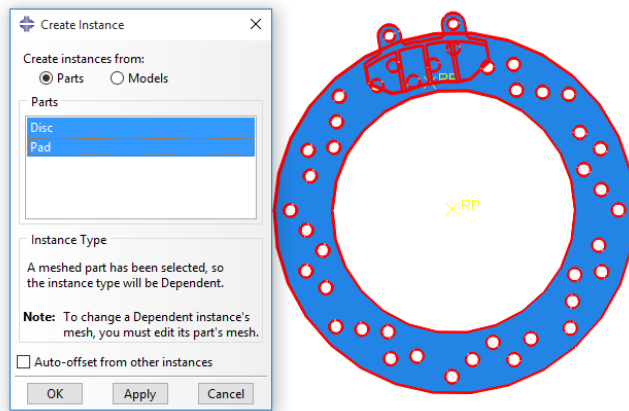
<i>Properties</i>	<i>Disk (Gray Cast Iron)</i>	<i>Kampas Rem (Asbestos)</i>
<i>Density (Kg/m³)</i>	7300	2500
<i>Modulus young (Gpa)</i>	124	160
<i>Poition Ratio</i>	0,33	0,3
<i>Konduktifitas Thermal (w/mK)</i>	53,3	1,46
<i>Specific Heat (J/KgK)</i>	490	1907



Gambar 3.6 *Input material properties*

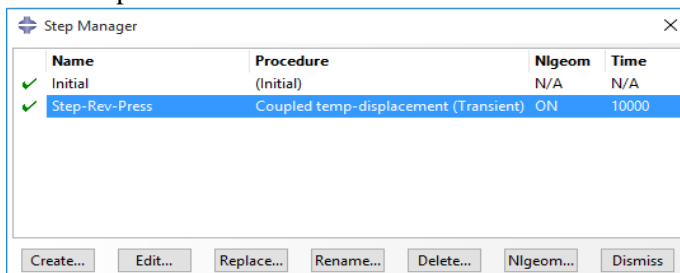
5. *Assembly part*

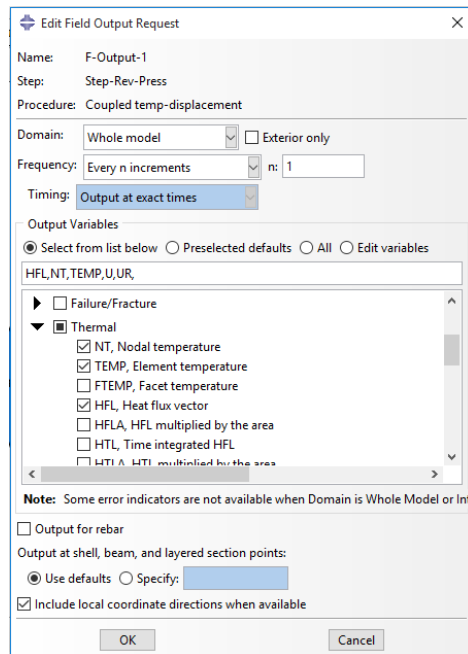
Menggabungkan *part* kampas rem dan disk rem menjadi satu kesatuan dan saling bersentuhan antar permukaannya. Dalam Creae Instance maka kedua *part* yang dilakukan input pada software solidwork akan menjadi satu kesatuan, setelah itu dilakukan pemilihan ketika dilakukan proses meshing terdapat 2 pilihan yaitu *dependent* atau *independent*, seperti pada gambar 3.7. Ketika pemilihan *dependent* maka dalam proses meshing akan diperlukan 2 kali meshing yaitu meshing kampas rem dan disc dilakukan secara terpisah. Ketika pilihan *independent* diberikan maka ketika proses meshing dilakukan maka dalam satu kali meshing akan langsung terbentuk meshing pada disc dan kampas rem.

Gambar 3.7 *Assembly part*

6. *Input Step* dan hasil *output* yang diinginkan

Modul step berfungsi untuk mendefinisikan tahapan dalam pengujian ini. Pada tahap ini nama *Step Rev + Press* dengan procedure Couple temp-displacement, seperti pada gambar 3.8 dan *output* yang dihasilkan dari simulasi berupa *heat flux* dan *temperature* seperti pada gambar 3.9. Dalam simulasi digunakan procedure couple temperature displacement karena couple temperature displacement digunakan untuk proses termo mekanis dengan deformasi yang tidak terlalu besar, proses termo mekanis sendiri merupakan proses yang menggabungkan dua proses yaitu mekanik dan panas.

Gambar 3.8 *Input step*

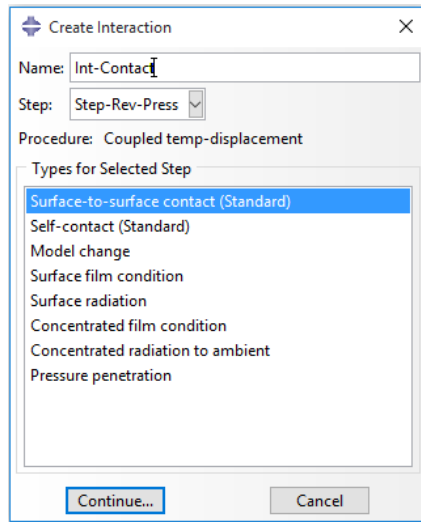
Gambar 3.9 Hasil *output*

Dalam Edit Field Output Request maka dapat ditentukan hasil output apa yang kita inginkan dari hasil simulasi. Pada Edit Field Output digunakan nodal temperature karena dalam proses simulasi dilakukan untuk mencari temperatur permukaan dari kampas rem, Sehingga perlu ditentukan temperatur di node pada permukaan kampas rem.

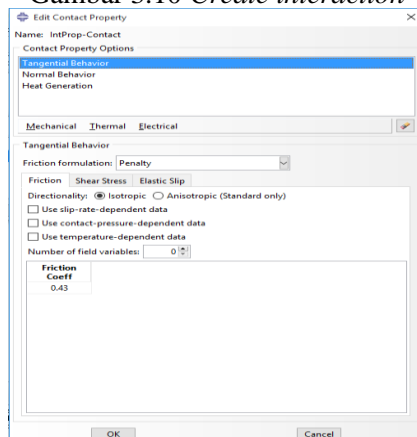
7. Interaction

Menentukan interaksi yang diinginkan dari kampas rem dan disk. Pada kasus ini digunakan surface to surface contact seperti pada gambar 3.10. Pada edit *contact property* dimasukkan koefisien gesek 0,43, seperti pada gambar 3.11 yang didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan antara kampas

rem dan piringan cakram pada motor honda supra x 125. Pada create interaction digunakan surface to surface kontak karena pada kasus proses pengereman terdapat kontak antara permukaan kampas rem dan piringan cakram



Gambar 3.10 *Create interaction*

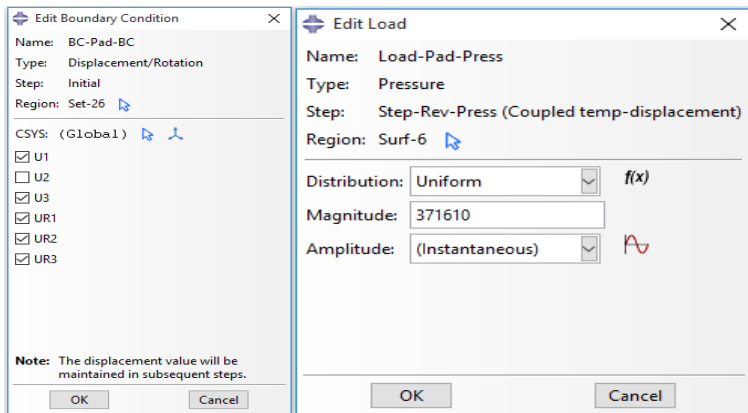


Gambar 3.11 *Interaction of disc brake*

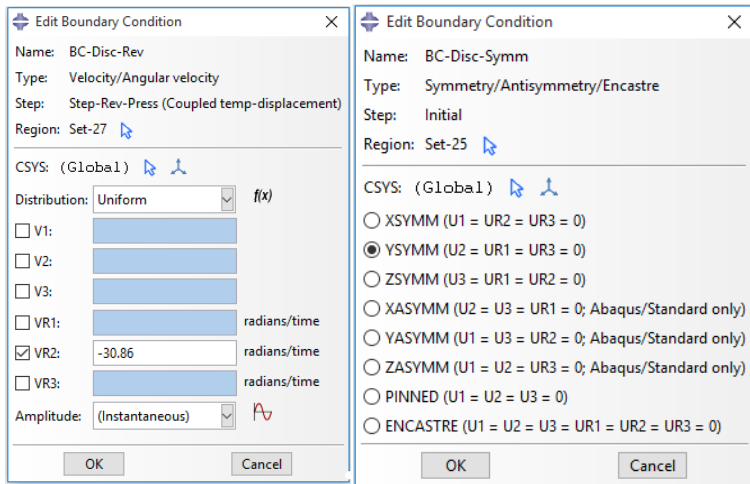
Pada edit contact property digunakan tangential behavior , normal behavior dan heat generation. Tangential behavior digunakan karena pada proses simulasi ini terdapat gesekan antara kampas rem dan piringan cakram, normal behavior digunakan karena terdapat pressure pada kontak antara disc dan kampas rem. Sedangkan heat generation digunakan karena akan timbul panas yang dibangkitkan dari proses kontak antara disc dan kampas rem.

8. Pemberian *Load*

Modul load berfungsi untuk mendefinisikan beban dan *boundary condition*. *Load* dapat didefinisikan spesifik pada *step* tertentu. Pada simulasi ini digunakan *boundary condition load* berupa *pressure* sebesar 371610 pada kampas rem, seperti pada gambar 3.12 dan kecepatan sudut piringan 3,14 rad/s seperti pada gambar 3.13



Gambar 3.12 Proses pemberian *pressure*



Gambar 3.13 Proses pemberian kecepatan sudut putaran

9. Proses *meshing*

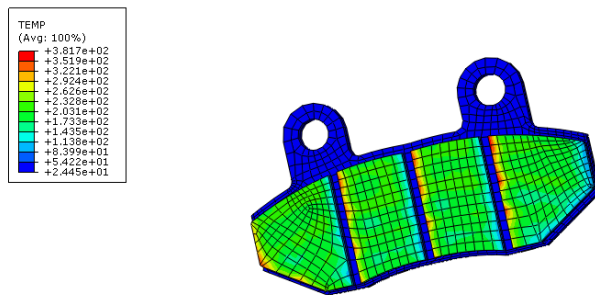
Proses *meshing* adalah proses membagi suatu komponen menjadi bagian – bagian kecil. Semakin banyak jumlah elemen maka hasil yang didapatkan lebih akurat, seperti pada gambar 3.14. Total elemen dari proses *meshing* yaitu 2500 elemen pada kampas rem dengan *element shape hexahedral* karena apabila digunakan element shape tetrahedral maka akan terjadi error karena distorsi yang terlalu besar. Sedangkan type element yang digunakan adalah couple temperature displacement karena terdapat proses termo mekanik atau proses mekanik disertai dengan panas.



Gambar 3.14 Proses pembuatan meshing

10. Creating Job dan Visualization

Setelah semua prosedur telah dilakukan selanjutnya dilakukan pemberian job dan visualization proses simuasi untuk menentukan hasil dari proses pengereman yang telah diberi pembebanan seperti pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Proses visualization

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

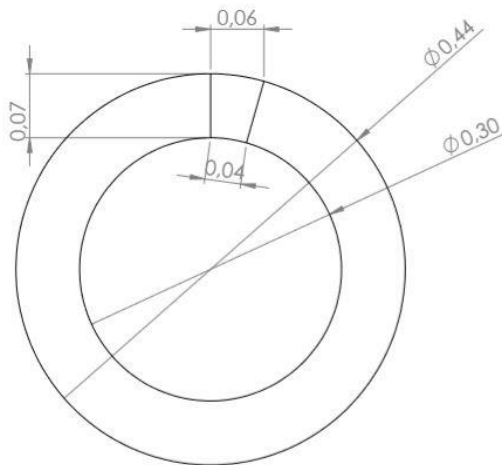
4.1 Perbandingan Hasil Hand Calculation dan Simulasi Dengan Bentuk Benda Yang Telah Disederhanakan

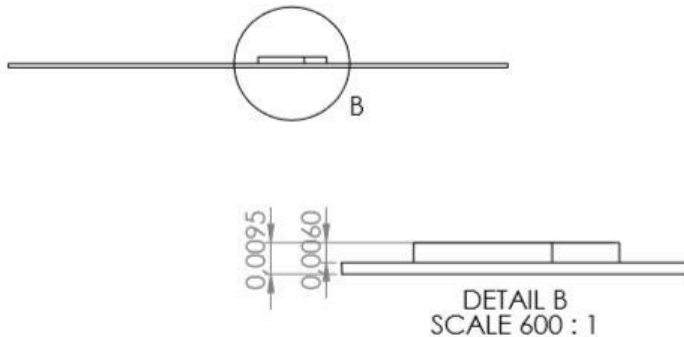
4.1.1 Dimensi Benda Dengan Bentuk Yang Disederhanakan

Untuk pengujian awal untuk mengetahui kesesuaian hasil simulasi maka digunakan benda kerja dengan bentuk yang sederhana. Kemudian dari benda kerja dengan bentuk yang sederhana akan dibandingkan dengan perhitungan manual yang dilakukan.

Perbandingan antara hasil simulasi benda kerja sederhana dengan perhitungan manual dilakukan untuk membuktikan bahwa hasil aplikasi *finite element* yang digunakan telah sesuai dengan teori.

Dimensi benda kerja dalam bentuk sederhana dalam satuan meter (m) yaitu :





Gambar 4.1 Dimensi benda kerja yang disederhanakan

4.1.2 Pemodelan Matematika

Untuk menentukan apakah hasil aplikasi *finite element* yang digunakan sesuai dengan teori maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan bentuk yang sederhana dari rem cakram dengan dimensi dan gaya belum sesuai dengan kenyataanya untuk mempermudah proses perhitungan.

Pada perhitungan tahap awal sebagai validasi antara simulasi dengan perhitungan digunakan :

$$\begin{aligned}
 F_p &= 100 \text{ N} \\
 \omega &= 3,14 \text{ rad/s} \\
 \mu_k &= 0,43 \\
 R &= 0,185 \text{ m} \\
 A &= 0,003685 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Properties Material of asbestos

No	Properties	Asbestos
1	Thermal Conductivity (W/mK)	1,46
2	Coeffisien of Friction	0.43
3	Thermal Diffusivity (cm ² /sec)	0,0007

Dapat didefinisikan bahwa F_{bc} (gaya gesekan) sama dengan koefisien gesekan dikalikan dengan gaya piston yang menekan *brake*, seperti pada persamaan:

$$\begin{aligned} F_{bc} &= \mu_k \cdot F_p \text{ (N)} \\ &= 0,43 \cdot 100 \\ &= 43 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} F_{bc} &= \text{Gaya gesek pengereman rem cakram (N)} \\ \mu_k &= \text{Koefisien gesek pada rem} \\ F_p &= \text{Gaya piston yang menekan } \textit{brake} \text{ (N)} \end{aligned}$$

Dari gaya gesek pengereman didapatkan Torsi Pengereman rem model cakram dapat diperoleh menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} T_{bc} &= F_{bc} \cdot R \text{ (Nm)} \\ &= 43 \cdot 0,185 \\ &= 7,955 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T_{bc} &= \text{Torsi pengereman rem cakram (Nm)} \\ F_{bc} &= \text{Gaya gesek pengereman rem cakram (N)} \\ R &= \text{Jarak antara pusat piringan ke kampas rem (m)} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dicari panas yang dibangkitkan dari proses gesekan antara kanvas rem dan piringan cakram menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} Q &= \omega \cdot T_{bc} \\ &= 3,14 \cdot 7,955 \\ &= 24,9787 \text{ W} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q &= \text{Heat Generation (W)} \\ \omega &= \text{Kecepatan sudut (rad/sec)} \end{aligned}$$

T_{bc} = Torsi Pengereman rem cakram (Nm)

Heat flux yang terjadi setiap titik pada jarak r dari sumbu rotasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{A} = \frac{\omega \cdot \mu \cdot F_p \cdot R}{A} \\ &= \frac{24,9787}{0,003683} \\ &= 6782,16 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

R = Jarak antara pusat piringan ke kampas rem (m)
 F_p = Gaya Piston (Pa)
 ω = Putaran (rad/sec)
 μ = Koefisien gesek
 A = Luas permukaan kanvas rem (m^2)

Setelah proses gesekan terjadi maka timbul heat generation atau energi yang dibangkitkan dari proses gesekan sehingga pada permukaan kampas rem yang mengalami gesekan akan terjadi kenaikan temperatur. Temperatur permukaan yang dihasilkan dari proses gesekan dapat ditentukan dengan rumus :

$$\begin{aligned} E_{in} + E_g &= E_{out} \\ 0 + Q &= q_{kond} - q_{konveksi} - q_{radiasi} \end{aligned}$$

Sehingga dari perpindahan panas konduksi dapat tentukan suhu permukaan dari hasil gesekan yaitu

$$\begin{aligned} T_{sur} - T_o &= \frac{q}{k} \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot t} \\ T_{sur} &= T_o + \frac{q}{k} \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot t} \\ t &= 1 \text{ s} \end{aligned}$$

$$T_{sur} = 27 + \frac{6782,16}{1,46} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 0,00000007 \cdot 1}$$

$$= 29,18^{\circ} \text{ C}$$

Dimana :

T_{sur} : Temperatur permukaan setelah terjadi gesekan ($^{\circ}\text{C}$)

T_o : Temperatur Awal sebelum Proses Gesekan ($^{\circ}\text{C}$)

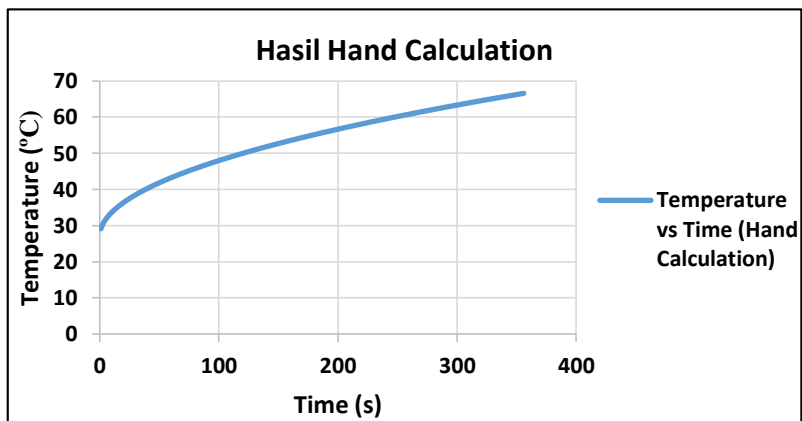
q : *Heat Flux* (W/m^2)

k : *Konduktifitas Thermal Material* ($\text{W}/\text{m } ^{\circ}\text{C}$)

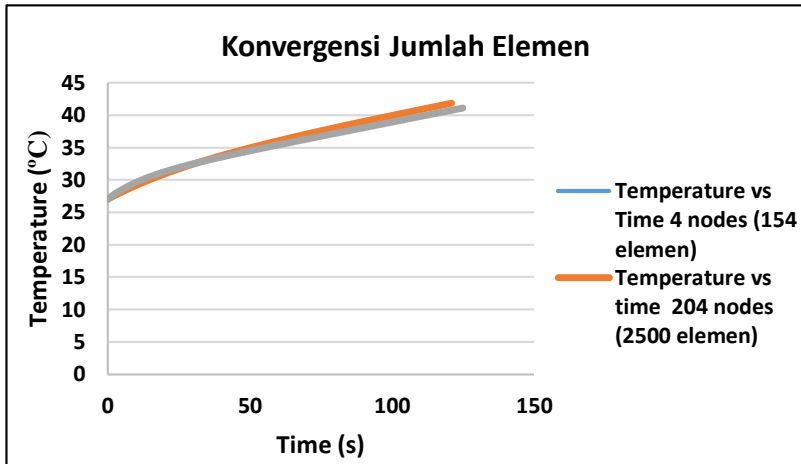
α : *Thermal Diffusivity Material* (m^2/sec)

t : Waktu Saat Terjadi Proses Gesekan (sec)

Dari hasil perhitungan manual dengan waktu gesekan selama $t = 358$ detik didapatkan grafik



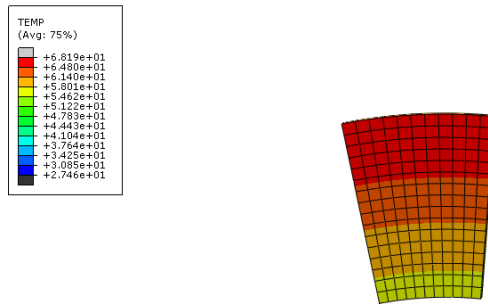
Gambar 4.2 Grafik hasil hand calculation benda kerja yang telah disederhanakan



Gambar 4.3 Grafik konvergency elemen yang digunakan

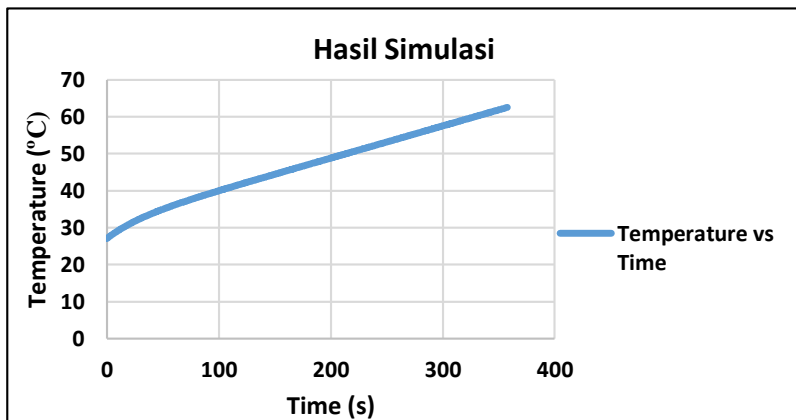
Berdasarkan hasil grafik 4.3 dapat dilihat bahwa apabila menggunakan temperatur permukaan dengan menjumlahkan semua node yang ada di permukaan kemudian membagi dengan jumlah *node*, maka menghasilkan hasil yang sama walaupun berbeda jumlah elemennya. Sehingga untuk simulasi digunakan temperatur permukaan dengan total 204 *node* dipermukaan kampas rem dan jumlah elemen total di kampas rem 2500 elemen.

Dengan menggunakan bentuk sederhana dengan dimensi dan *input* yang sama dengan perhitungan manual yang dilakukan, didapatkan hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi *finite element* :



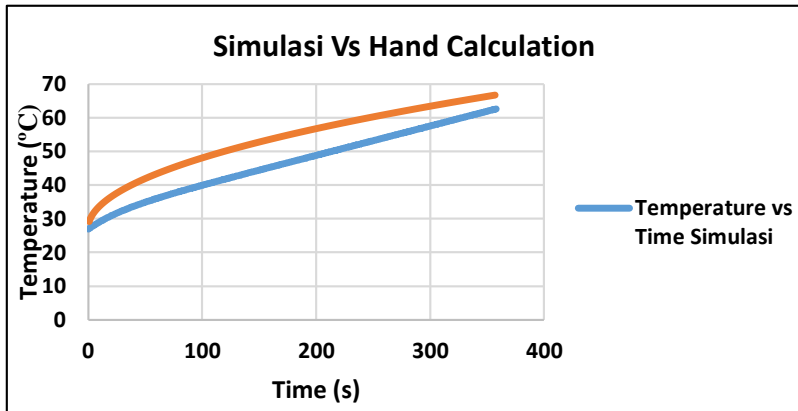
Gambar 4.4 Hasil simulasi benda kerja yang disederhanakan bentuknya

4.1.3 Hasil Simulasi Dengan *Software Finite Element*



Gambar 4.5 Grafik simulasi benda kerja yang telah disederhanakan

Dari hasil perhitungan manual dan hasil simulasi dapat dibuat grafik perbandingan antara perhitungan manual dan hasil simulasi yaitu :



Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara hasil simulasi dan *hand calculation*

Dari grafik 4.6 dapat dilihat ada sedikit perbedaan suhu di awal namun semakin lama kedua grafik akan semakin mengerucut menjadi satu. Dari grafik hasil perbandingan menggunakan perhitungan manual dan hasil simulasi dapat dikatakan hasil *simulasi finite element* yang dilakukan telah sesuai. Sehingga dapat dibuat benda dalam bentuk yang sesungguhnya dan dapat dilakukan pemberian variasi jumlah dan bentuk lubang.

4.2 Simulasi Menggunakan Bentuk Benda Yang Sebenarnya

4.2.1 Dimensi Benda Yang Sebenarnya



Gambar 4.7 Benda kerja sebenarnya

4.2.2 Perhitungan data proses pengereman

a. Menentukan Gaya Piston Yang Menekan Piringan Cakram :

Gaya yang diberikan piston (F_p) adalah gaya agar tidak terjadi lock pada roda. Apabila gaya yang diberikan sistem lebih dari gaya yang dibutuhkan sistem, ($F_{bf} \geq \mu W_f$) (F_{bf} : Gaya yang dibutuhkan sistem), maka akan terjadi *Lock* roda depan, sehingga agar tidak terjadi lock maka gaya yang diberikan pada sistem harus kurang dari gaya yang dibutuhkan sistem.

$$\begin{aligned} \text{Gaya rem diberikan system} &< \text{gaya rem dibutuhkan system} \\ F_{bf} &< \mu W_f \end{aligned}$$

Untuk menentukan gaya rem (piston) yang menekan piringan cakram diperlukan data :

Dilakukan penimbangan motor dan penumpang pada kondisi datar didapatkan :

$$\begin{aligned} W_f &= 66,5 \text{ kg} \\ W_r &= 112,6 \text{ kg} \\ W &= W_f + W_r \\ &= 66,5 + 112,6 = 179,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W_f &= \text{Berat motor} + \text{penumpang pada roda depan} \\ W_r &= \text{Berat motor} + \text{penumpang pada roda depan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= \frac{W_f}{W} \cdot L \\ &= \frac{66,5}{179,1} \cdot 1,235 \text{ m} \\ &= 0,46 \text{ m} \\ L_f &= L - L_r \\ &= 1,235 - 0,5 \\ &= 0,77 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimana :

L_f = Jarak sumbu roda depan dengan CG

L_r = Jarak sumbu roda belakang dengan CG

Dari data spesifikasi motor honda supra X 125 jarak antara sumbu roda depan dan belakang yaitu :

$$L = 1235 \text{ mm} = 1,235 \text{ m}$$

Menentukan jarak antara sumbu roda depan (L_f) dan belakang (L_r) dengan CG :

Menentukan ketinggian CG dari tanah :

Pada penelitian ini digunakan sudut turunan 20° dan 1 orang penumpang dengan berat = 64 kg, kemudian dilakukan penimbangan belakang sepeda motor, didapat Berat (Sepeda Motor + Penumpang) =

$$W_r = 93,4 \text{ kg}$$

Maka dapat ditentukan ketinggian CG dari tanah (h) yaitu :

$$\begin{aligned} h &= \frac{(W \cos \theta \cdot L_f) - (W_r \cos \theta \cdot L)}{W \sin \theta} \\ &= \frac{(179,1 \cos 20^\circ \cdot 0,77) - (93,4 \cos 20^\circ \cdot 1,235)}{179,1 \sin 20} \\ &= 0,40 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimana :

h = Ketinggian CG dari tanah

θ = Sudut Turunan Kemiringan Jalan

L_f = Jarak sumbu roda depan dengan CG

W_r = Berat belakang kendaraan pada roda belakang

W = Berat total kendaraan

Menentukan Berat depan kendaraan pada kecepatan 30 km/jam dengan sudut turunan jalan 20°

Pada saat jalan pada kondisi jalan menurun pada kecepatan 30 km/jam W_f dapat dicari dengan rumus :

$$W_f = \frac{W}{L} \left(L_r + \frac{h}{\cos \theta} (\sin \theta + \mu_{\text{aspal}} + f_r \text{ Kendaraan}) \right)$$

$$\begin{aligned}
 W_f &= \frac{W}{L} \left(L_r + \frac{h}{\cos \theta} (\sin \theta + \mu_{\text{aspal}} + f_r \text{ Kendaraan}) \right) \\
 &= \frac{179,1}{1,235} \left(0,46 + \frac{0,40}{\cos 30} (\sin 20 + 0,75 + 0,0178) \right) \\
 &= 138,47 \text{ kg} = 1384,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dimana :

W_f = Berat depan kendaraan pada roda depan

W = Berat total kendaraan (berat sepeda motor + penumpang)

L = Jarak sumbu roda depan dan belakang

L_r = Jarak sumbu roda belakang dengan CG

h = Ketinggian CG dari tanah

θ = Sudut Turunan Kemiringan Jalan

μ_{aspal} = Koefisien Gesek Aspal

f_r = Nilai rolling resistance

Agar tidak terjadi lock maka gaya yang diberikan harus lebih kecil dari yang dibutuhkan sistem maka :

$$\begin{aligned}
 F_{bf} &< W_f \cdot 0,85 \\
 &< 1384,7 \cdot 0,85 \\
 &< 1177 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi agar tidak terjadi lock diberikan gaya kurang dari 1177 N maka pada penelitian ini digunakan gaya (F_{bf}) sebesar 970 N

Setelah diketahui gaya F_{bf} selanjutnya dicari gaya gesek pengereman (F_{fpiston}) yang menekan piringan cakram :

$$F_{\text{fpiston}} \cdot R_{db} = F_{bf} \cdot R_f$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{fpiston}} &= \frac{F_{bf} \cdot R_f}{R_{db}} \\
 &= \frac{117,7 \cdot 0,27}{0,110}
 \end{aligned}$$

$$F_{\text{fpiston}} = 2380,9 \text{ N}$$

Dimana :

$F_{f\text{ piston}}$ = Gaya Gesek antara kampas rem dan cakram
 F_{bf} = Gaya Pengeraman depan
 R_{db} = Jarak antara pusat roda dengan kampas rem
 R_f = Jari – jari roda

Sehingga gaya piston yang menekan piringan cakram (F_p) adalah

$$\begin{aligned}
 F_{f\text{ piston}} &= F_p \cdot \mu_b \\
 F_p &= \frac{F_{f\text{ piston}}}{\mu_b} \\
 F_p &= \frac{2380,9 \text{ N}}{0,43} \\
 F_p &= 5536,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan gaya yang menekan piston sebesar 5536,9 N

b. Menentukan Kecepatan Sudut Putaran Roda

Pada penelitian ini digunakan kecepatan kendaraan saat kondisi jalan turun (v) sebesar 30 Km/jam dan ukuran jari jari roda = 27 cm = 0,27 m , maka dapat ditentukan kecepatan sudut putaran roda (ω) sebesar :

$$\begin{aligned}
 V &= 30 \text{ Km/jam} = 8,3 \text{ m/s} \\
 R &= 0,27 \text{ m} \\
 V &= \omega \cdot R \\
 \omega &= \frac{V}{R} \\
 \omega &= \frac{8,3}{0,27} \\
 \omega &= 30,86 \text{ rad/s} = 4,9 \text{ (rps)}
 \end{aligned}$$

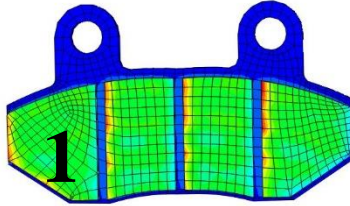
Maka digunakan kecepatan sudut putaran sebesar, $\omega = 30,86 \text{ rad/s} = 4,9 \text{ (rps)}$

4.2.3 Simulasi Menggunakan Aplikasi *Finite Element*

Berdasarkan hasil data pengereman dilakukan simulasi menggunakan aplikasi finite elemen dengan parameter proses dan properties material :

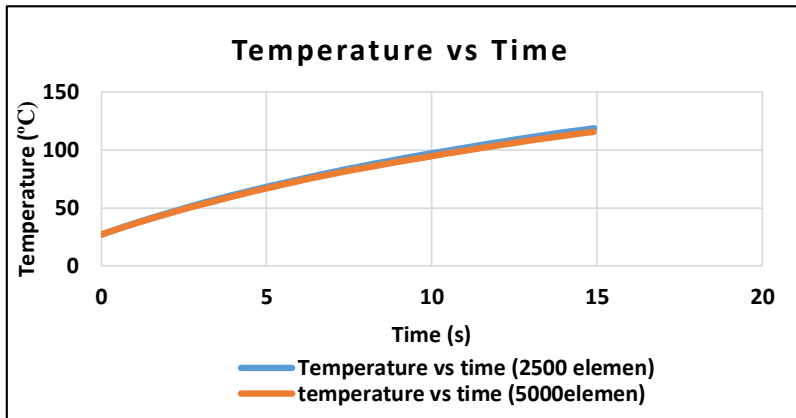
$$F_p = 5536,9 \text{ N}$$

$$\omega = 30,86 \text{ rad/s}$$



Gambar 4.8 Permukaan yang dijadikan referensi

Permukaan kampas rem memiliki 4 permukaan. Untuk menguji konvergensi digunakan temperature dengan bentuk permukaan yang paling kompleks yaitu permukaan 1. Sama seperti benda yang masih dalam bentuk sederhana sebelumnya, kampas rem dicari temperature permukaannya dengan menjumlahkan semua node yang ada dipermukaan kemudian membagi dengan jumlah node yang ada di permukaan.



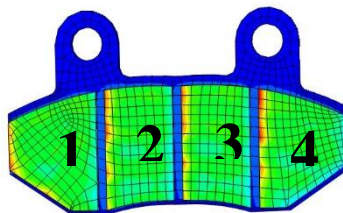
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan temperature permukaan kampas rem 2500 elemen dan 5000 elemen

Sama seperti pada benda kerja dalam bentuk yang disederhanakan sebelumnya dengan menggunakan temperature permukaan berdasarkan hasil grafik dapat dilihat bahwa apabila menggunakan temperatur permukaan dengan menjumlahkan semua node kemudian membagi dengan jumlah node maka menghasilkan hasil yang sama walaupun berbeda jumlah elemennya. Sehingga untuk simulasi digunakan temperatur permukaan dengan total 204 node di permukaan kampas rem dan jumlah elemen total dikampas rem 2500 elemen.

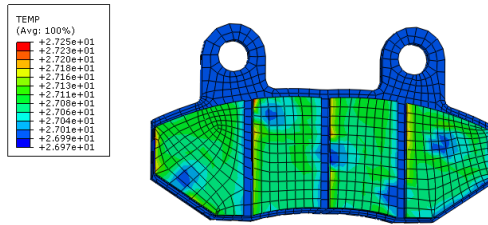
Tabel 4.2 Properties Material Disc dan Kampas Rem

<i>Properties</i>	<i>Disk (Gray Cast Iron)</i>	Kampas Rem (<i>Asbestos</i>)
<i>Density (Kg/m³)</i>	7300	2500
<i>Modulus young (Gpa)</i>	124	160
<i>Poition Ratio</i>	0,33	0,3
<i>Konduktifitas Thermal (w/mK)</i>	53,3	1,46
<i>Specific Heat (J/KgK)</i>	490	1907

Untuk mempermudah membedakan hasil simulasi digunakan 4 buah permukaan yaitu :

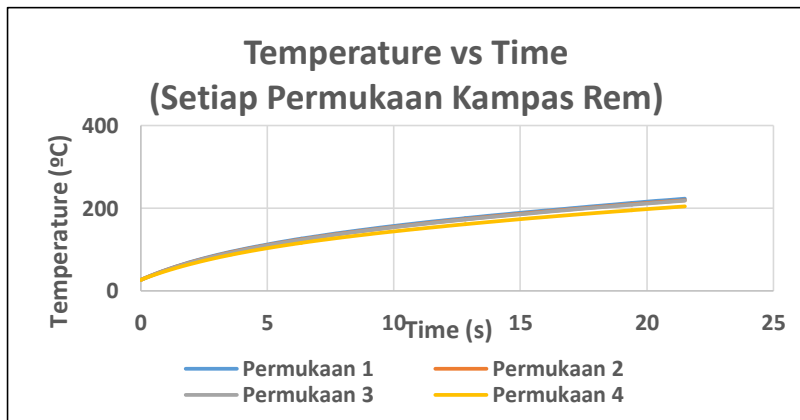


Gambar 4.10 Permukaan kampas rem

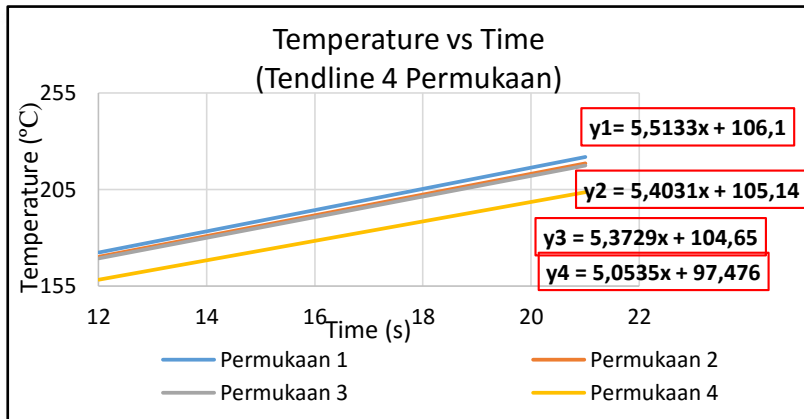


Gambar 4.11 Hasil simulasi tanpa variasi jumlah dan bentuk lubang

Setelah dilakukan simulasi benda yang sesungguhnya dengan *software finite element* didapatkan hasil masing – masing temperature permukaan dari kampas rem :



Gambar 4.12 Grafik Hasil temperatur permukaan kampas rem



Gambar 4.13 Grafik trend line temperatur permukaan kampas rem

Dari *Trendline* diatas terlihat bahwa garis yang memiliki gradien garis tertinggi adalah garis temperatur pada permukaan 1 yaitu 5,5133 yang disusul garis temperatur permukaan 2 dengan gradien garis 5,4031 yang hampir sama dengan gradien garis temperatur pada permukaan 3 yaitu 5,3729 sedangkan gradien garis temperatur pada permukaan 4 memiliki gradien garis terkecil yaitu 5,053.

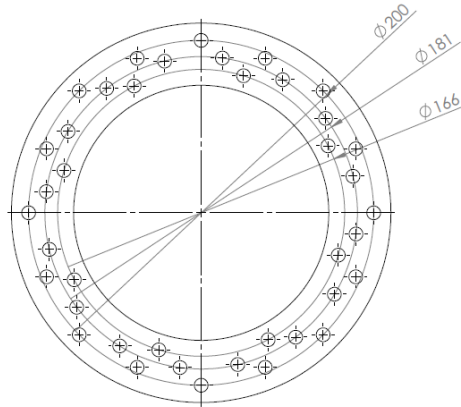
Dari grafik 4.14 dapat dilihat bahwa paling cepat menjacpai temperatur 200°C adalah permukaan 1 dengan waktu 16,970 detik atau 83 Putaran detik disusul permukaan 2 mencapai suhu 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran kemudian permukaan 3 mencapai suhu 200°C pada waktu 17,652 detik atau 86,5 putaran, kemudian permukaan 4 pada waktu 20,439 detik atau 100 putaran

4.3 Variasi Jumlah Lubang pada piringan cakram

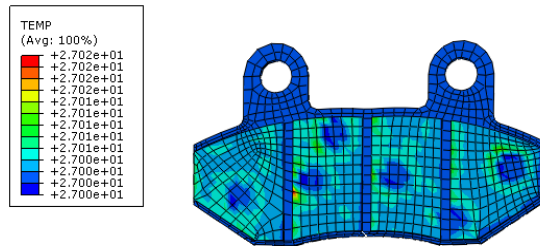
4.3.1 Penambahan Lubang pada piringan cakram

Pada penambahan lubang akan dilakukan penambahan sebanyak 8 lubang dengan jarak setiap lubang 45° pada 3 diameter yang berbeda penmbahan lubang mengacu pada diameter lubang lubang sebelumnya yaitu pada diameter 166 mm, 181 mm dan

200 mm dengan jari – jari lubang sama dengan jari – jari lubang sebelumnya Karena Temperatur Tertinggi Terjadi di permukaan 1 dan 2 maka digunakan grafik pada temperatur permukaan 1 dan 2 saja.



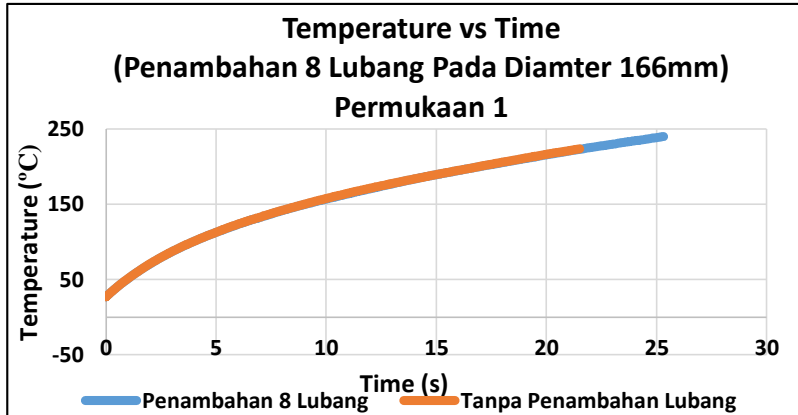
Gambar 4.14 Diameter penambahan 8 lubang pada piringan cakram



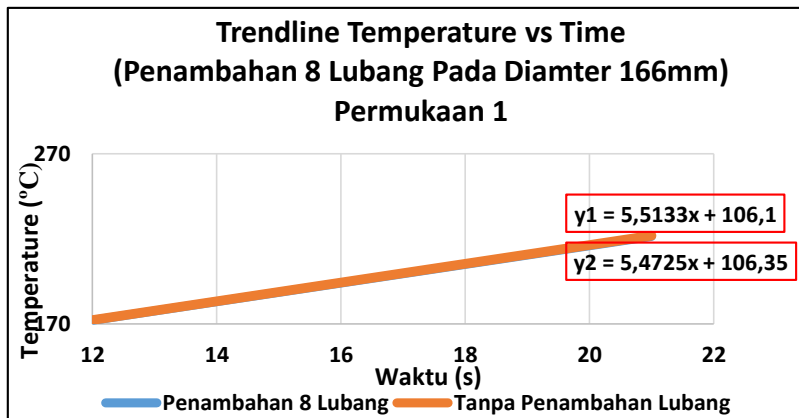
Gambar 4.15 Hasil simulasi variasi penambahan 8 lubang pada piringan cakram

Penambahan 8 Lubang Pada Diameter 166 mm

Untuk variasi pertama dilakukan penambahan lubang pada diameter 166 mm



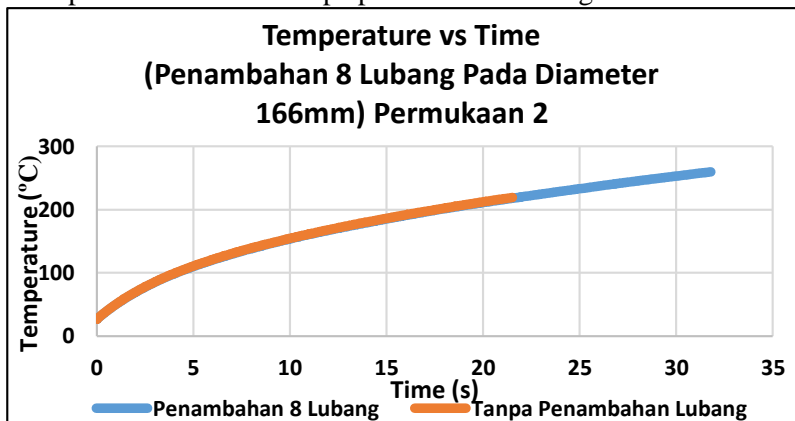
Gambar 4.16 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 166 mm



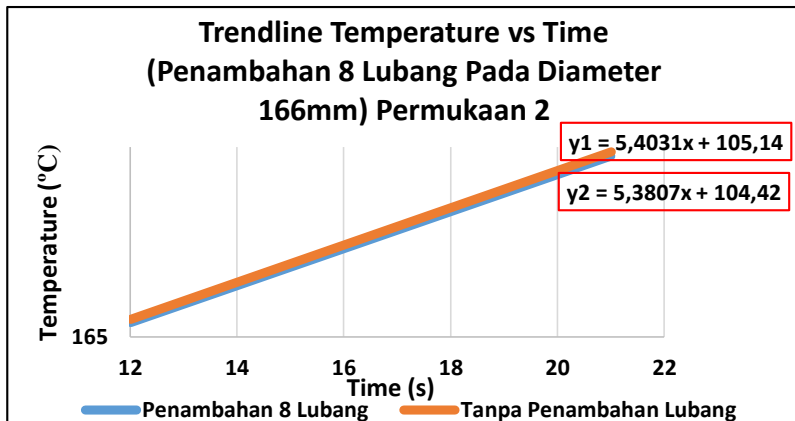
Gambar 4.17 Trend line hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 166 mm

Setelah grafik terbuat kemudian dari Trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan penambahan 8 lubang pada diameter 166 mm mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa penambahan lubang. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,5133 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,4725.

Dari data hasil simulasi dengan penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm didapatkan temperature permukaan kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,03 detik atau 83,7 putaran, sedangkan tanpa penambahan lubang temperature permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 16,970 detik atau 83,3 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas sehingga temperature cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.



Gambar 4.18 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 166 mm



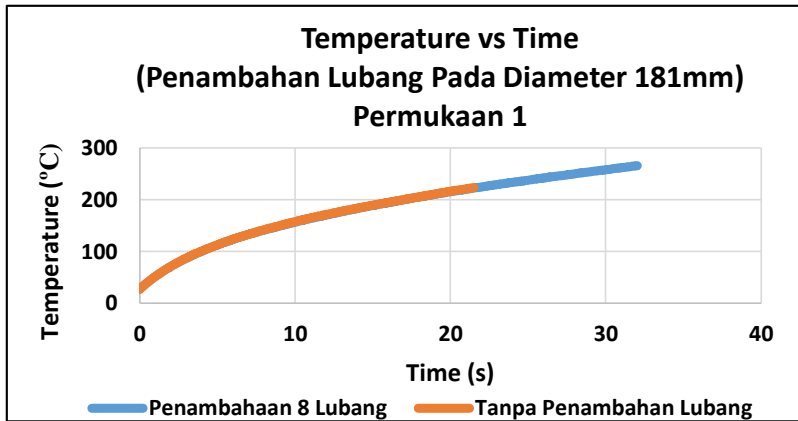
Gambar 4.19 Trend hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 166 mm

Garis yang terbentuk dari penambahan 8 lubang pada diameter 166 mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa penambahan lubang. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,4031 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,3807.

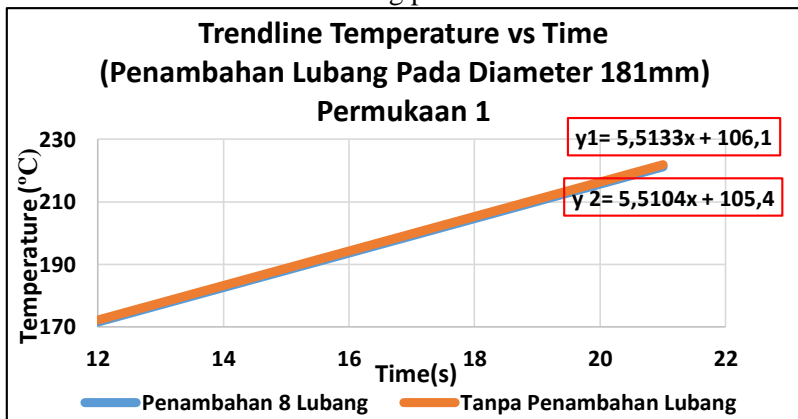
Berdasarkan simulasi dengan penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm didapatkan temperature permukaan 2 pada kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,65 detik atau 86,66 putaran sedangkan tanpa penambahan lubang, temperatur permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas sehingga temperatur cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.

Penambahan 8 Lubang Pada Diameter 181 mm

Untuk variasi kedua dilakukan penambahan lubang pada diameter 181 mm



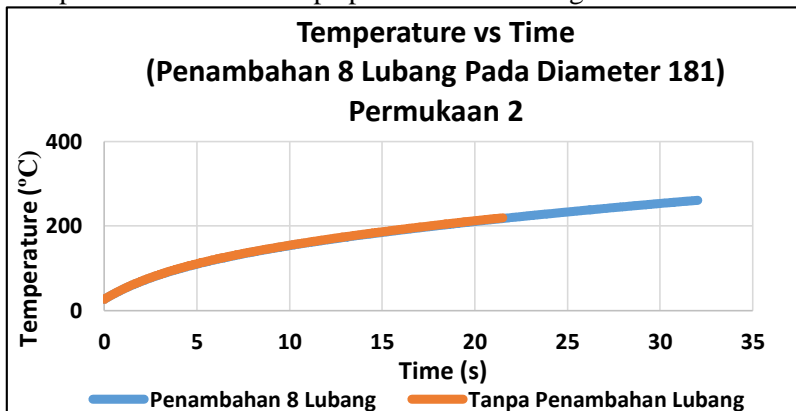
Gambar 4.20 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 181 mm



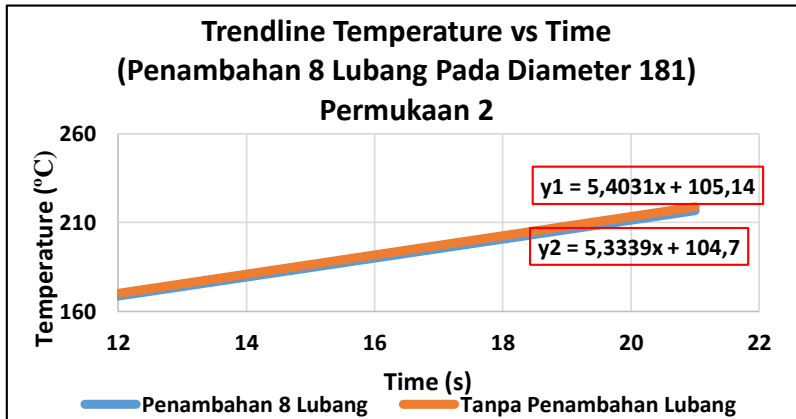
Gambar 4.21 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 181 mm

Setelah dilakukan simulasi maka terbentuk grafik. Dari grafik 4.22 dapat dibuat trendline dengan persamaan garis, dari persamaan garis yang dibuat dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan penambahan 8 lubang pada diameter 181 mm mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa penambahan lubang. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,5131 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,5104.

Pada hasil simulasi penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm didapatkan temperature permukaan kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,054 detik atau 83,73 putaran sedangkan tanpa penambahan lubang, temperatur permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 16,97 detik atau 83,3 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas sehingga temperatur cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.



Gambar 4.22 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 181 mm



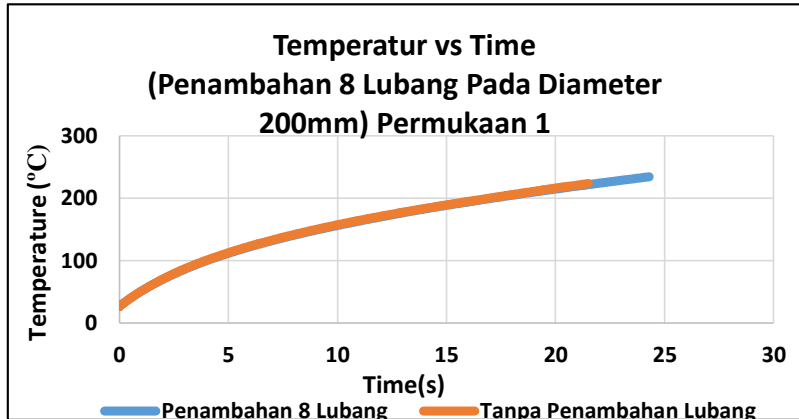
Gambar 4.23 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 181 mm

Berdasarkan hasil simulasi penambahan lubang pada diameter 181 mm cenderung memiliki Trendline yang turun, hal itu dapat dilihat dari persamaan garis yang terbentuk antara kedua garis. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,4031 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,3339.

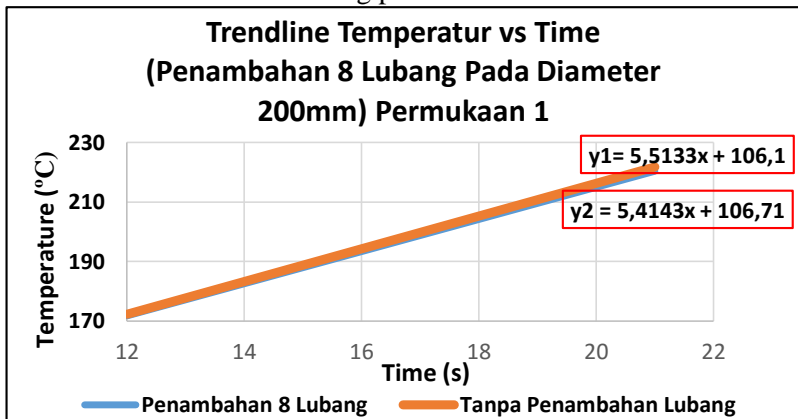
Dari data hasil simulasi dengan penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm didapatkan temperature permukaan kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,82 detik atau 87,5 putaran sedangkan tanpa penambahan lubang, temperatur permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas sehingga temperatur cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.

Penambahan 8 Lubang Pada Diameter 200 mm

Untuk variasi pertama dilakukan penambahan lubang pada diameter 200 mm



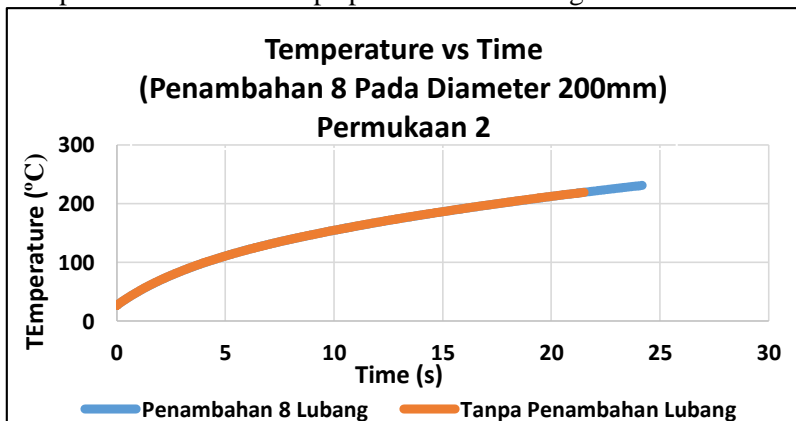
Gambar 4.24 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 200 mm



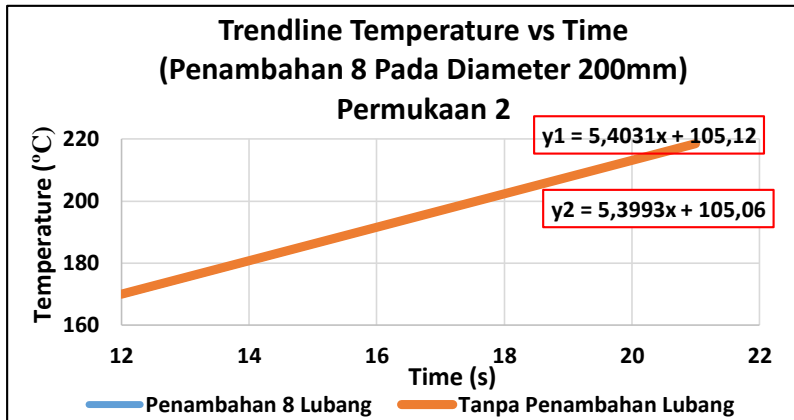
Gambar 4.25 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 1 dengan Penambahan lubang pada diameter 200 mm

Berdasarkan Trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan penambahan 8 lubang pada diameter 200mm mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa penambahan lubang. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,5133 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,4143.

Dari data hasil simulasi dengan penambahan 8 lubang pada diameter 200 mm didapatkan temperture permukaan kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,6 detik atau 86,4 putaran sedangkan tanpa penambahan lubang, temperatur permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 16,97 detik atau 83,3 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas sehingga temperatur cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.



Gambar 4.26 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 200 mm



Gambar 4.27 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 2 dengan Penambahan lubang pada diameter 200 mm

Setelah dilakukan simulasi dengan penambahan 8 lubang pada diameter 200mm dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 2, dimana gradien garis dengan penambahan 8 lubang mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa penambahan lubang. Dimana pada garis tanpa penambahan lubang memiliki gradien garis 5,4031 sedangkan dengan penambahan lubang memiliki gradien garis 5,3993.

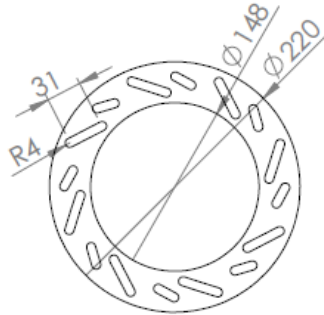
Ketika dilakukan penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm didapatkan temperature permukaan kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,50 detik atau 85,9 putaran sedangkan tanpa penambahan lubang, temperatur permukaan kampas rem akan mencapai temperature 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran. Hal ini menunjukkan penurunan waktu yang sangat kecil yang diakibatkan hanya sedikitnya lubang yang menyebabkan tidak terjadinya heat generation atau panas yang dibangkitkan akibat gesekan. Permukaan kampas rem yang melewati lubang tidak akan terjadi gesekan yang dapat membangkitkan panas

sehingga temperatur cenderung menurun dari pada kondisi awal tanpa penambahan lubang.

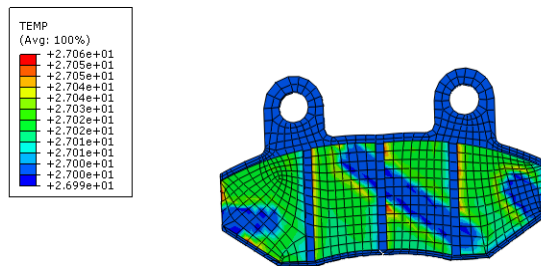
Dari grafik penambahan lubang dapat dilihat bahwa dengan penambahan 8 lubang pada 3 diameter yang berbeda ternyata tidak menurunkan temperature permukaan dari kampas rem secara signifikan, temperatur permukaan 1 kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 16,970 atau 83 putaran dan permukaan 2 pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran.

4.4 Variasi Bentuk Lubang pada piringan cakram

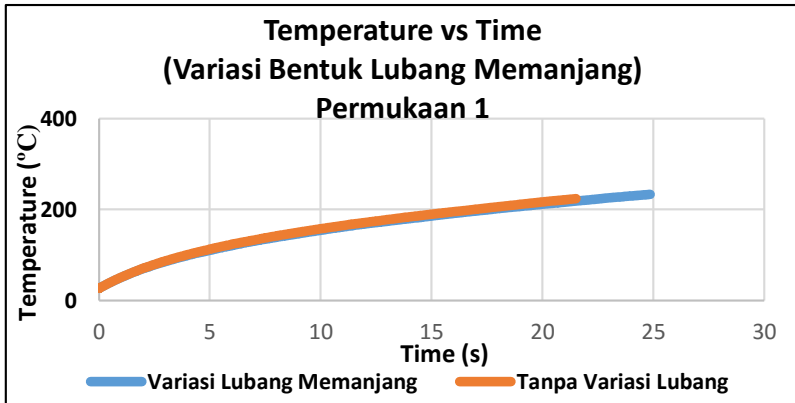
4.4.1 Lubang memanjang pada piringan cakram



Gambar 4.28 Dimensi variasi lubang bentuk memanjang pada piringan cakram

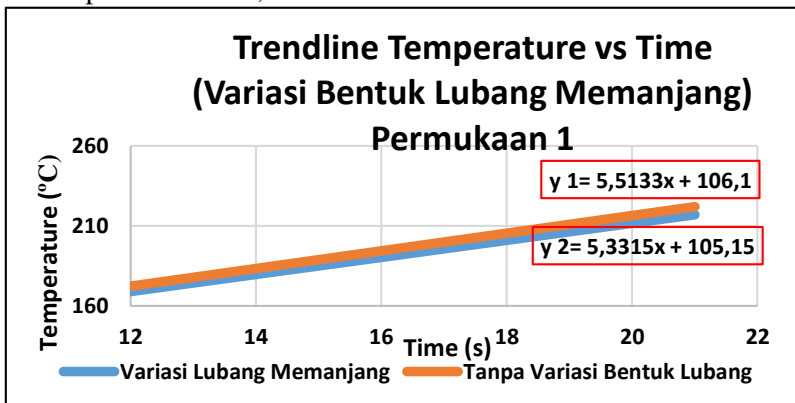


Gambar 4.29 Hasil simulasi variasi lubang bentuk elips pada piringan cakram



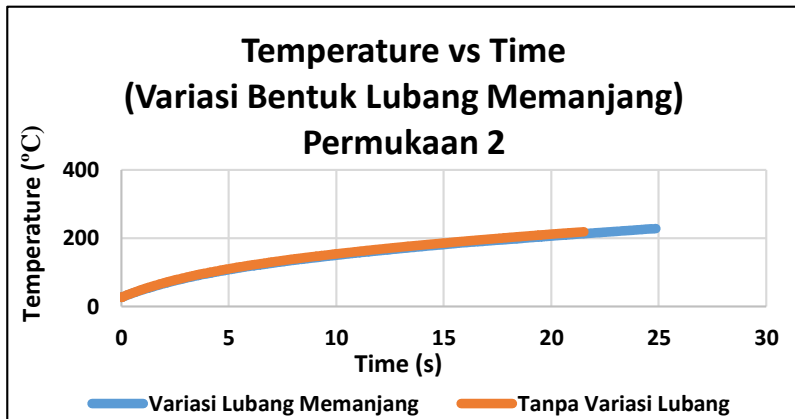
Gambar 4.30 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan Variasi lubang memanjang

Hasil simulasi ketika diubah menjadi grafik dapat dilihat dengan mengubah bentuk lubang menjadi memanjang menurunkan sedikit temperatur permukaan pada kampas rem pada permukaan 1 dengan variasi lubang memanjang temperature permukaan / rata – rata kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 17,7 detik atau 86,73 putaran, sedangkan apabila tanpa variasi mencapai suhu 200°C pada waktu 16,970 atau 83 Putaran.



Gambar 4.31 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 1 dengan Variasi lubang memanjang

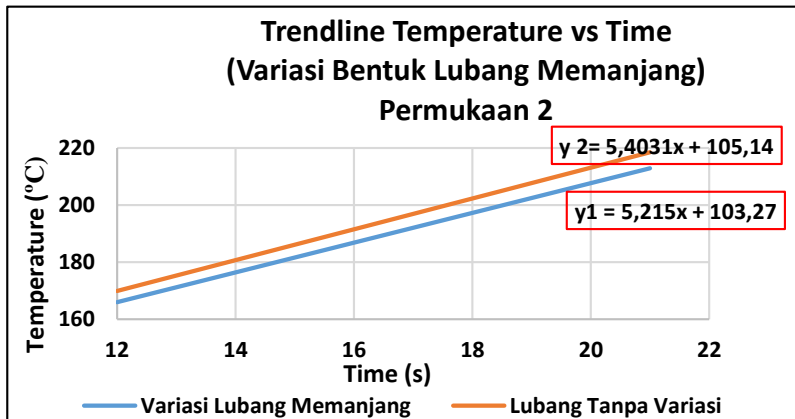
Setelah grafik hasil simulasi dibuat kemudian dibuat trendline dan dari trendline dibuat persamaan garis lurus agar dapat diketahui perbedaan kemiringan antara kedua garis, dari persamaan garis yang dibuat dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan variasi bentuk lubang memanjang mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa variasi bentuk lubang. Dimana pada garis tanpa variasi bentuk lubang memiliki gradien garis 5,5133 sedangkan dengan variasi bentuk lubang memanjang memiliki gradien garis 5,3315.



Gambar 4.32 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan Variasi lubang memanjang

Ketika hasil simulasi dibuat grafik, garis di awal grafik cenderung naik. Kenaikan garis diawal grafik dikarenakan proses gesekan awal belum merata disepanjang permukaan kampas rem. Dari grafik 4.34 dapat dilihat dengan mengubah bentuk lubang menjadi memanjang menurunkan sedikit temperatur permukaan pada kampas rem pada permukaan 2 dengan variasi lubang memanjang temperature permukaan / rata – rata kampas rem

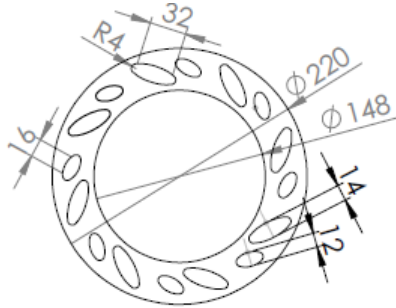
mencapai suhu 200°C pada waktu 18,6 detik atau 91,14 putaran, sedangkan apabila tanpa variasi mencapai suhu 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran



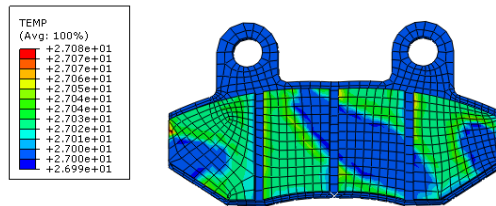
Gambar 4.33 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 2 dengan Variasi lubang memanjang

Berdasarkan persamaan garis yang dibuat dari *trendline* dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 2, dimana gradien garis dengan variasi bentuk lubang memanjang mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa variasi bentuk lubang. Dimana pada garis tanpa variasi bentuk lubang memiliki gradien garis 5,4031 sedangkan dengan variasi bentuk lubang memanjang memiliki gradien garis 5,3315

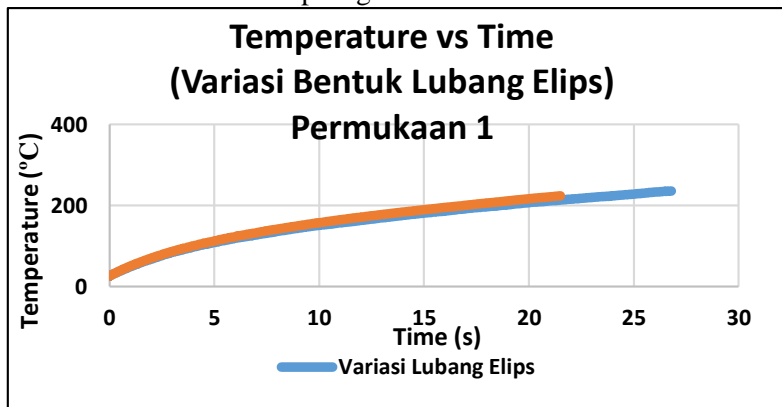
4.4.2 Lubang elips pada piringan cakram



Gambar 4.34 Dimensi variasi lubang bentuk elips pada piringan

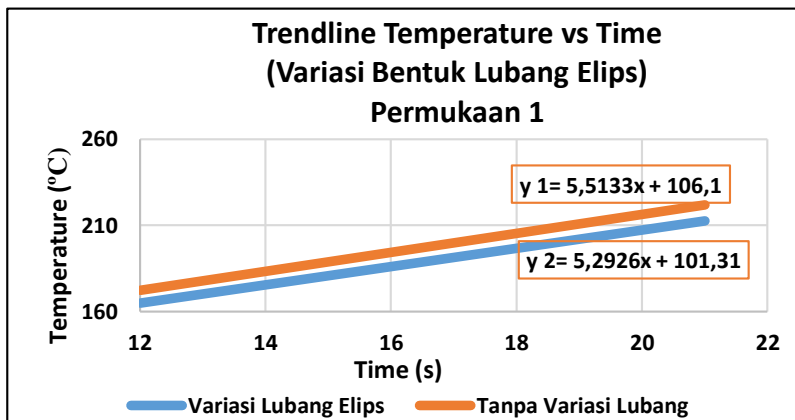


Gambar 4.35 Hasil simulasi variasi lubang bentuk elips pada piringan cakram



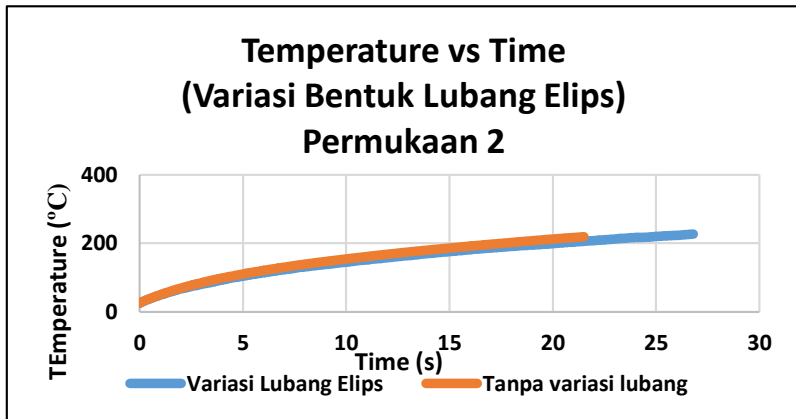
Gambar 4.36 Grafik hasil simulasi permukaan 1 dengan Variasi lubang elips

Berdasarkan grafik 4.38 dapat dilihat dengan mengubah bentuk lubang menjadi berbentuk elips menurunkan sedikit temperatur permukaan pada kampas rem pada permukaan 1 dengan variasi lubang berbentuk elips temperature permukaan / rata – rata kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 18,67 detik atau 91,48 putaran, sedangkan apabila tanpa variasi mencapai suhu 200°C pada waktu 16,970 atau 83 Putaran.



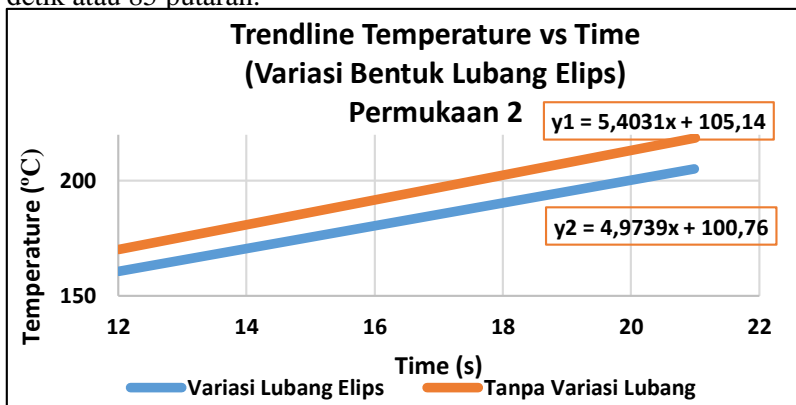
Gambar 4.37 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 1 dengan Variasi lubang elips

Dari persamaan garis yang dibuat dari trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan variasi bentuk lubang elips mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa variasi bentuk lubang. Dimana pada garis tanpa variasi bentuk lubang memiliki gradien garis 5,5133 sedangkan dengan variasi bentuk lubang Elips memiliki gradien garis 5,2926.



Gambar 4.38 Grafik hasil simulasi permukaan 2 dengan Variasi lubang elips

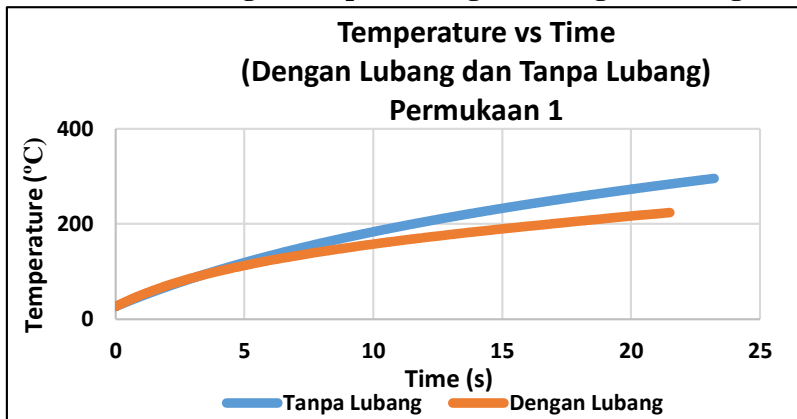
Berdasarkan grafik hasil simulasi variasi bentuk lubang elips dapat dilihat dengan mengubah bentuk lubang menjadi berbentuk elips menurunkan sedikit temperatur permukaan pada kampas rem. Pada permukaan 2 dengan variasi lubang berbentuk elips temperature permukaan / rata – rata kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 20,18 detik atau 98,88 putaran, sedangkan apabila tanpa variasi mencapai suhu 200°C pada waktu 17,485 detik atau 85 putaran.



Gambar 4.39 Grafik Trendline hasil simulasi permukaan 2 dengan Variasi lubang elips

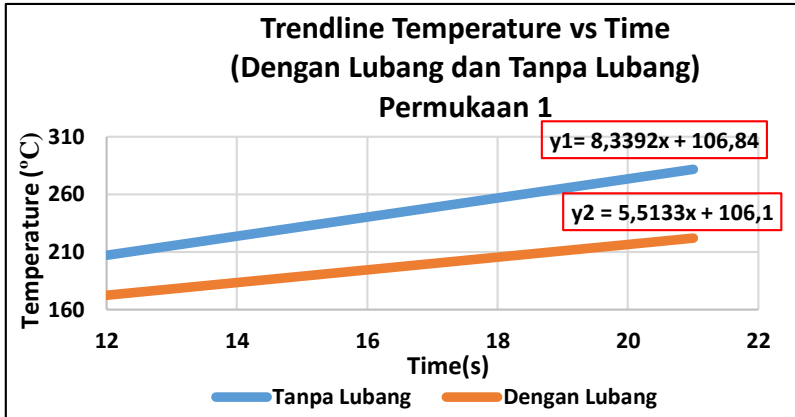
Berdasarkan gradien garis yang dibuat dari trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 2, dimana gradien garis dengan variasi bentuk lubang elips mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa variasi bentuk lubang. Dimana pada garis tanpa variasi bentuk lubang memiliki gradien garis 5,4031 sedangkan dengan variasi bentuk lubang elips memiliki gradien garis 4,9739

4.5 Perbandingan Tanpa Lubang dan Dengan Lubang



Gambar 4.40 Grafik hasil simulasi permukaan 1 tanpa lubang pada piringan cakram

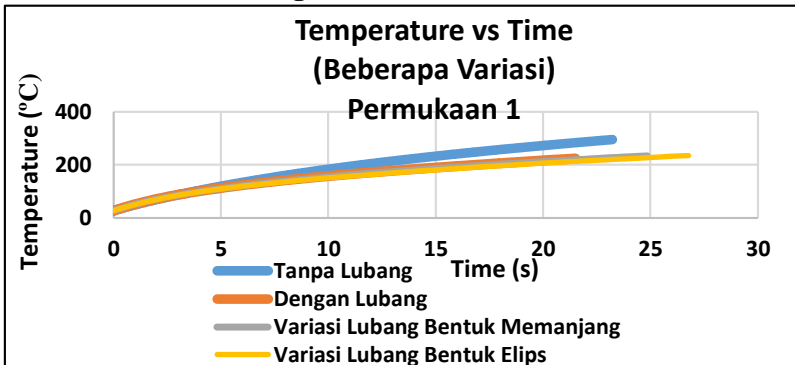
Dari grafik 4.42 terlihat piringan cakram tanpa lubang temperatur permukaannya akan cenderung mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan piringan cakram dengan lubang. Pada permukaan 1 tanpa lubang pada piringan cakram temperature permukaan / rata – rata kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 11,6 detik atau 56,84 putaran, sedangkan apabila dengan lubang mencapai suhu 200°C pada waktu 16,970 atau 83 Putaran.



Gambar 4.41 Grafik trendline simulasi permukaan 2 tanpa lubang pada piringan cakram

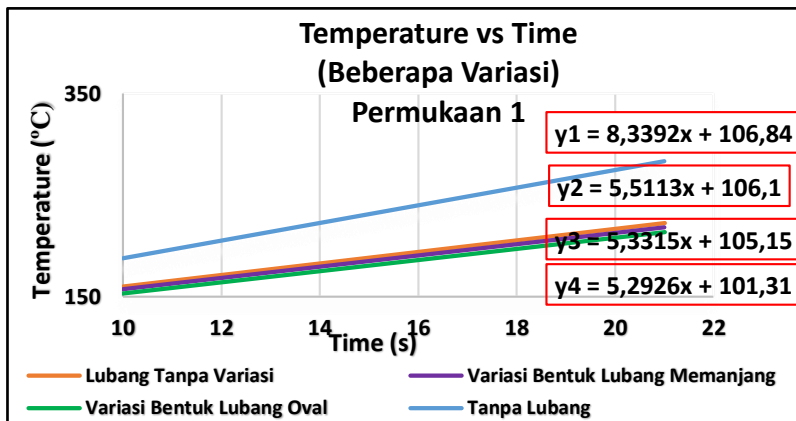
Dari Trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature pada permukaan 1, dimana gradien garis dengan lubang mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan gradien garis tanpa lubang. Dimana pada garis tanpa lubang memiliki gradien garis 8,3392 sedangkan dengan variasi bentuk lubang elips memiliki gradien garis 5,5133.

4.6 Perbandingan Tanpa Lubang, Dengan Lubang, Dan Variasi Bentuk Lubang



Gambar 4.42 Perbandingan tanpa lubang, dengan lubang, dan variasi bentuk lubang

Dari grafik 4.44 dapat dilihat temperatur tertinggi terdapat pada temperatur kampas rem dengan piringan cakram tanpa lubang, sedangkan temperatur terendah terdapat pada piringan cakram dengan variasi lubang berbentuk elips. Dengan piringan cakram tanpa lubang kampas rem mencapai suhu 200°C pada waktu 11,6 detik. Pada piringan cakram dengan bentuk lubang tanpa divariasikan suhu permukaan kampas rem mencapai temperature 200°C pada waktu waktu 16,970 atau 83 Putaran. Pada piringan cakram dengan variasi lubang bentuk memanjang temperatur kampas rem mencapai 200°C pada waktu 17,7 detik atau 86,73 putaran. Pada piringan cakram dengan variasi lubang elips temperatur kampas rem mencapai 200°C pada 18,67 detik atau 91,48



Gambar 4.43 Trenline perbandingan tanpa lubang, dengan lubang, dan variasi bentuk lubang

Dari Trendline dapat dilihat bahwa terdapat penurunan grafik temperature. Dimana pada garis tanpa lubang memiliki gradien garis 8,3392 . Pada garis lubang tanpa variasi memiliki gradien garis 5,5113. Pada garis Variasi lubang bentuk memanjang

memiliki gradien garis 5,3315. Pada garis Variasi lubang bentuk oval memiliki gradien garis 5,2926.

Pada variasi bentuk lubang elips memiliki penurunan gradien garis atau penurunan kenaikan temperatur pada kampas rem tertinggi bila dibandingkan dengan variasi lubang memanjang dan penambahan 8 lubang pada 3 diameter yang berbeda, karena bentuk lubang elips memiliki ukuran lubang yang terbesar dari pada bentuk memanjang dan penambahan lubang sehingga luas permukaan yang tidak terjadi gesekan antara disc dan kampas rem akan semakin besar yang mengakibatkan tidak timbulnya panas pada saat proses gesekan akan semakin besar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil simulasi dan perhitungan saat pengereman dilakukan pada jalan menurun yang telah dianalisa sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan simulasi pada kampas rem dengan bentuk yang sebenarnya, temperature permukaan kampas rem tertinggi terjadi pada permukaan nomor 1 dimana terjadi gesekan terakhir antara kampas rem dengan piringan cakram, sedangkan temperature permukaan kampas rem terendah terjadi pada permukaan nomor 4 dimana awal terjadinya gesekan antara kampas rem dan piringan cakram.
2. Setelah dilakukan simulasi hasil piringan cakram tanpa lubang dengan luas permukaan piringan cakram 100% yang dibandingkan dengan piringan cakram berlubang dengan jumlah lubang dan letak lubang sebenarnya dengan luas permukaan piringan cakram 90,3% , temperatur kampas rem dengan lubang pada piringan cakram luas permukaan piringan cakram 90,3% menghasilkan temperatur yang lebih rendah bila dibandingkan temperatur kampas rem tanpa lubang dengan luas permukaan piringan cakram 100%.
3. Penambahan 8 lubang pada diameter 166 mm, 181 mm dan 200 mm dengan luas permukaan piringan cakram 88,4% tidak mengubah temperature permukaan kampas rem cakram secara signifikan sampai mencapai temperatur faddingnya
4. Variasi bentuk lubang dari bulat menjadi memanjang dengan luas permukaan piringan cakram 81,4% dan elips dengan luas permukaan piringan cakram 74% sedikit menurunkan temperatur permukaan kampas rem cakram sampai mencapai temperatur faddingnya
5. Variasi lubang berbentuk elips dengan luas permukaan piringan cakram 74% menghasilkan temperatur permukaan kampas rem

terendah dari pada lubang tanpa variasi dengan luas permukaan piringan cakram 90,3% , variasi bentuk lubang memanjang dengan luas permukaan piringan cakram 81,4% dan penambahan lubang dengan luas permukaan piringan cakram 88,4% .

5.2 Saran

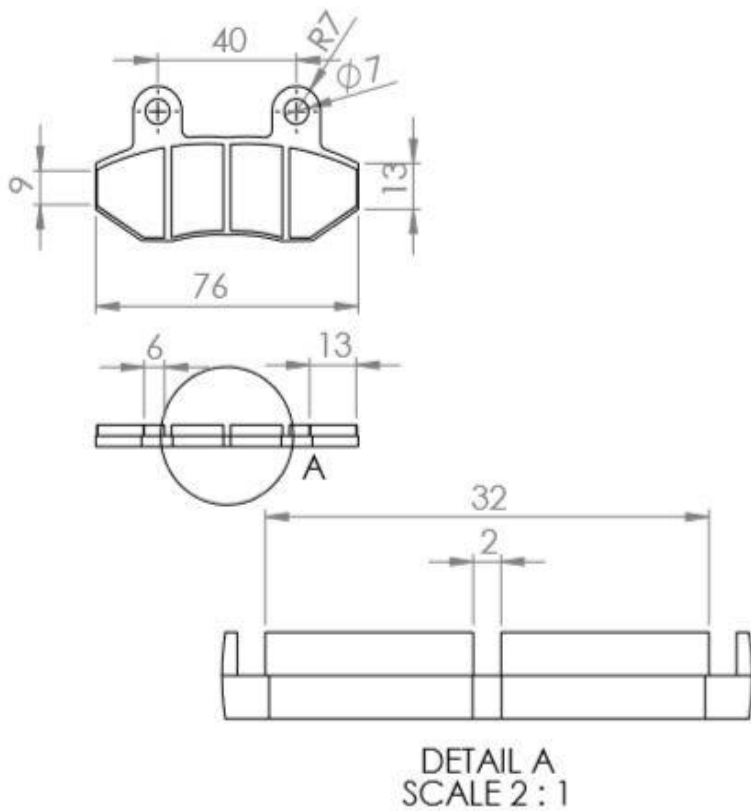
Setelah dilakukan penelitian mengenai pengaruh lubang pada piringan cakram terhadap distribusi temperature kampas rem cakram, saran untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

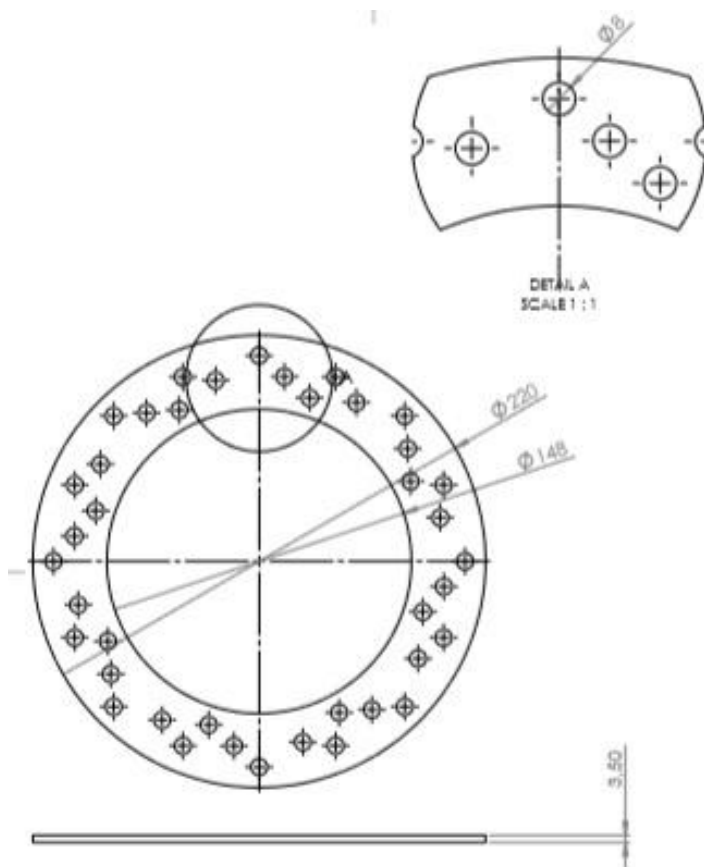
1. Untuk menganalisa panas pada proses pengereman selnjutnya dapat digunakan software ansys APDL yang memiliki fitur lebih lengkap.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh jumlah dan bentuk lubang pada piringan cakram terhadap perubahan koefisien gesek.

DAFTAR PUSTAKA

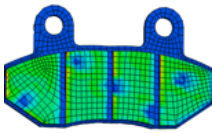
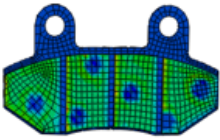
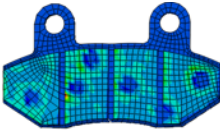
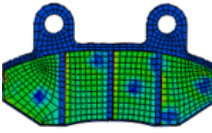
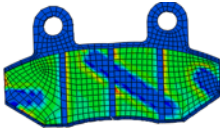
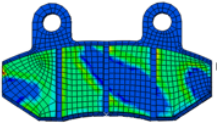
1. Sutantra, I. N. & Sampurno. 2005. **Teknologi Otomotif 2th Edition**. Surabaya : Guna Widya.
2. Fahrozy, S. 2012. **Pengujian Performa Sistem Pengereman Tipe Disc Brake Pada Mobil Listrik Nagageni D3 Teknik Mesin**. Tugas Akhir. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Sukamto, 2014. **Pengaruh Komposisi Struktur Bahan Pada Perambatan Panas Pada Kampas Rem Sepeda Motor**. Tugas Akhir. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Janabatra.
4. Sukamto, 2012. Analisis Keausan Kampas Rem Pada Sepeda Motor . Tugas Akhir. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Janabatra. **Jurnal Teknik Vol.3 No.1/April 2013 ISSN 2088 - 3676**.
5. Adiwiyata, I. 2017. **Analisa Finite Element Method (Fem) Untuk Friction Stir Welding**. Tugas Akhir. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Suryaatmaja, A. 2016. **Analisa Sistem Pengereman CBS (Combi Brake System) Pada Motor Honda Beat 110 ESP CBS ISS Dengan Kondisi Jalan Datar dan Menurun**. Tugas Akhir. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Dewi, F. 2015. **Analisa Sistem Pengereman CBS (Combined Brake System) Pada Honda Vario Techno 125 Idling Stop System PGM-FI Dengan Kondisi Jalan Menurun**. Tugas Akhir . Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
8. Ahzabuddin, M. 2017. **Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Temperatur dan Tensile Strength Pada Friction Welding Dengan Material High Density Polyethylene**. Tugas Akhir. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
9. Dagwa, I.M. and Ibhadode, A. O. A. 2006. Some Physical and Mechanical Properties Of Asbestos-Free Experimental Brake Pad. Nigeria : Departement Of Mechanincal Engineering

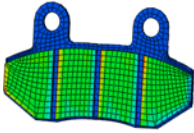
- University Of Abuja. *Journal Of Raw Materials Research Jormar* 3(2) 2006, 94 – 103.
10. Incropera, F. P. & Dewitt, D.P. 2008. **Fundamental of Heat and Mas Transfer 7th Edition**. John Wiley & Sons Inc.
 11. Isbullah, W. 2013. **Prediksi Kegagalan Sistem Rem Pada Sepeda Motor (Studi Kasus Honda Supra X 125)**. Tugas Akhir. Semarang : Universitas Diponegoro.
 12. Coutinho, J., Martin, S., Samata, G., Tapley, S. dan Wilkin, D.1995.**FieldbusTutorial**,<URL:<http://kernow.curtin.edu.au/www/fieldbus/fieldbus.htm>>
 13. Abaqus Software. Conversion Tables, Constants, and Material Properties. Tanggal akses 25 Maret 2018 <<http://abaqus.software.polimi.it/v6.14/books/popups/usb-tbl.html>>
 14. Engineering tool box. Densities Of Common Solids. Tanggal Akses 15 Februari 2018. <https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids_d_1265.html>

DAFTAR LAMPIRAN**Lampiran 1 : Dimensi kampas rem**

Lampiran 2 : Dimensi piringan cakram

Lampiran 3 : Hasil Simulasi

No	Variasi Lubang	Skematik	T_f (s)	A	d (m)
1	Lubang Tanpa Variasi (Luas permukaan piringan cakram 90,3%)		16,970	5,5133	141,36
2	Penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm (Luas permukaan piringan cakram 88,4%)		17,03	5,4725	141,86
3	Penambahan 8 lubang pada diameter 181 mm (Luas permukaan piringan cakram 88,4%)		17,054	5,5104	142,03
4	Penambahan 8 lubang pada diameter 200 mm (Luas permukaan piringan cakram 88,4%)		17,6	5,4143	146,61
5	Variasi bentuk lubang memanjang (Luas permukaan piringan cakram 81,4%)		17,7	5,3315	147,44
6	Variasi bentuk lubang elips (Luas permukaan piringan cakram 74%)		18,67	5,2926	155,52

7	Tanpa Lubang (Luas permukaan piringan cakram 100%)		11,6	8,3392	96,63
---	---	---	------	--------	-------

Keterangan : T_f = Waktu mencapai temperature
fadding/200°C (s)

A = Gradien garis

d = Jarak yang ditempuh sampai mencapai
temperatur fadding (m)

Lampiran 4 : Jarak pengereman sesuai SNI 4404 tahun 2008

Kategori	Jarak berhenti (S) (m)	MFDD (m/s ²)
L1	$S < 0,1 \times V + V^2/90$	3,4
L2	$S < 0,1 \times V + V^2/70$	2,7 ^{+/}
L3	$S < 0,1 \times V + V^2/115$	4,4 ^{+/}
L4	$S < 0,1 \times V + V^2/95$	3,6

Digunakan kategori L3 yaitu kendaraan bermotor beroda dua dengan kapasitas silinder lebih dari 50 cc atau dengan desain kecepatan maksimum lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya, dengan kecepatan 30 km/jam = 8,33 m/s, maka didapatkan jarak berhenti (S) < 2 m

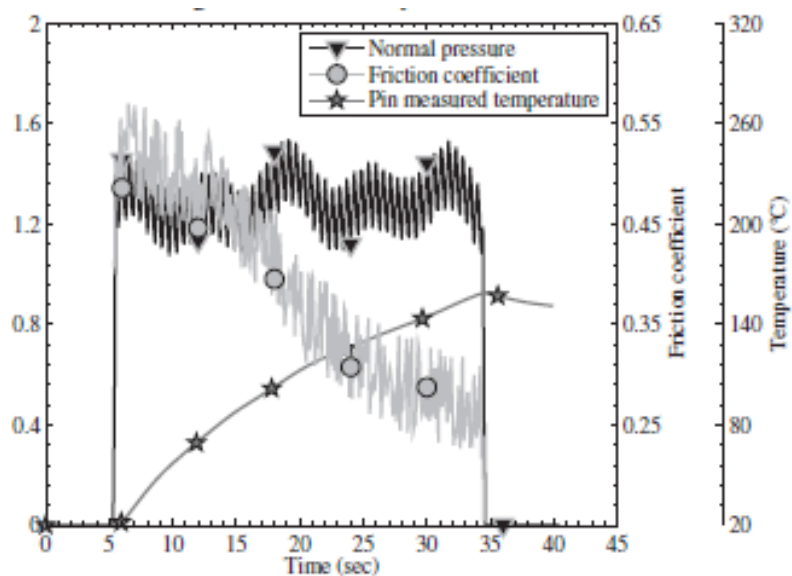
No	Variasi Lubang	T _b (s)	T _p	S(m)
1	Lubang Tanpa Variasi (Luas permukaan 90,3%)	0,24 s	33,51976	1,18 m
2	Penambahan 8 lubang pada diameter 161 mm (Luas permukaan 88,4%)	0,24 s	33,49579	1,21 m
3	Penambahan 8 lubang pada diameter 181 mm (Luas permukaan 88,4%)	0,24 s	33,47255	1,26 m
4	Penambahan 8 lubang pada diameter 200 mm (Luas permukaan 88,4%)	0,24 s	33,45955	1,29 m
5	Variasi bentuk lubang memanjang (Luas permukaan 81,4%)	0,24 s	33,25252	1,36 m
6	Variasi bentuk lubang elips (Luas permukaan 74%)	0,24 s	32,75199	1,43 m
7	Tanpa Lubang (Luas permukaan 100%)	0,24 s	34,2044	1,02 m

Keterangan : T_b = Waktu pengereman (s)

T_p = Temperatur kampas ren (°C)

S = Jarak berhenti (m)

Lampiran 5 : Grafik perubahan nilai koefisien gesek terhadap temperatur



BIODATA PENULIS



Muhammad Wildan Al Hakim lahir di Tulungagung, 22 Maret 1995. Merupakan anak kelima dari 5 bersaudara pasangan Masduki dan Sudjiati. Pendidikan formal yang ditempuh adalah SDN Bolorejo 1 (2001-2007), SMP Negeri 1 Kauman (2007-2010), dan SMA Negeri 1 Kauman (2010-2013). Sejak muda, penulis selalu tertarik dengan dunia desain. Pada awalnya penulis melakukan studi di jurusan D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, kemudian penulis memilih

untuk melanjutkan studinya di jurusan S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terdaftar dengan NRP 02111645000025.

Selama masa kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin dalam Departemen Riset Teknologi dan Departemen Pendidikan. Selain itu penulis juga aktif di kegiatan UKM, Penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan dan kegiatan program kreatifitas mahasiswa.

Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Desain sebagai bahasan Tugas Akhir yang memiliki topik pengaruh lubang terhadap distribusi temperatur kampas rem yang dibimbing oleh bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT. Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, dapat melalui email mwildan_xh24@yahoo.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)